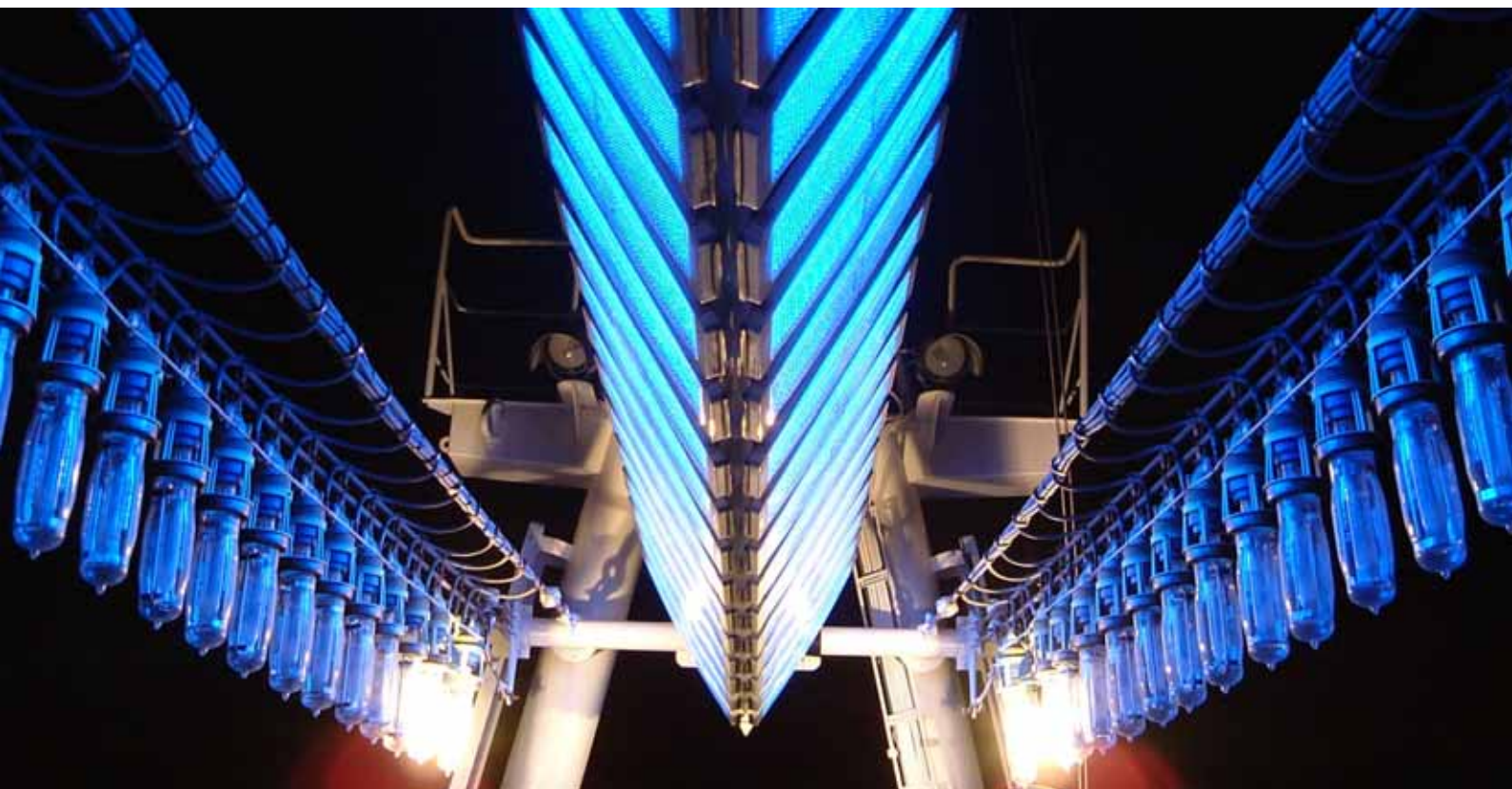


平成17年度

日本海沖合海域におけるいか釣り用青色発光ダイオード
船上集魚灯試験結果報告書

日本海漁業操業効率化支援事業・漁場形成状況等調査事業
青色発光ダイオード実証化試験報告書



平成18年2月28日
石川県水産総合センター

ISHIKAWA PREFECTURE FISHERIES RESEARCH CENTER

目次

第1章 目的と背景

- 1. 事業の目的 1
- 2. LED集魚灯の特徴 1

第2章 調査の方法

- 1. LED集魚灯パネルの設置 3
- 2. 漁獲試験 5
- 3. 燃油消費量調査 5
- 4. 海洋観測 6
- 5. 水中光強度測定 6
- 6. 生物測定 7
- 7. 漁船動向調査 7
- 8. 船体安定性 7

第3章 結果と考察

- 1. 調査海域と環境条件 8
- 2. 漁獲成績 9
- 3. 燃油消費量 11
- 4. 操業時の魚探反応 11
- 5. 船体周囲の水中光強度 16
- 6. ガイドローラー下の水中光強度 25
- 7. 生物測定結果 25
- 8. 漁船の動向 27
- 9. その他 27
- 10. まとめ 28

第4章 スルメイカの棲息場所の光環境と視感度特性に基づくLED集魚灯の有効光の評価	
1. 評価の方法	29
2. スルメイカの棲息水深	29
3. いか釣り漁場の光学的水型	29
4. スルメイカの棲息場所の太陽光スペクトルと視感度特性	30
5. スルメイカの棲息場所におけるMHランプと青色LEDのスペクトル	31
6. MHランプと青色LEDの光の透過効率	32
7. LED集魚灯のスペクトルの最適化	33
第5章 今後の検討課題と調査計画	
1. LED集魚灯パネルの角度調整	34
2. LED集魚灯とMH集魚灯の併用	34
3. 操業時におけるスルメイカの分布水深	34
引用文献	35
付表	36

石川県水産総合センター 担当者

海洋資源部	桶田 浩司 (総括)
海洋資源部	町田 洋一 (調査)
海洋資源部	四方 崇文 (調査・とりまとめ)
調査船白山丸	白田 光司 (調査船運航)

第1章 目的と背景

1. 事業の目的

現在、いか釣り漁業ではメタルハライド灯 (MH: Metal Halide Lamp) が集魚灯として用いられているが、MH灯は多量の電力を消費するため発電用の燃油の消費量も多く、燃油価格高騰による漁業経営への影響が深刻な問題となっている。

小型いか釣り漁船では、電力消費が少ない青色発光ダイオード (LED: Light Emitting Diode) を用いた集魚灯の実証試験が実施されており、MH灯と遜色ない漁獲と高い燃油節減効果が確認されている¹⁾。一方、日本海の日韓暫定水域等で韓国漁船と競合しながら操業する中型いか釣り漁船には、集魚システムに高い漁獲能力と高い経済効率が求められるが、これまでLED灯の実証試験は行われていない。このため、中型いか釣り漁船に近い装備を有する調査船白山丸を用い、日本海沖合海域において、スルメイカ (*Todarodes pacificus*) を対象として、LED灯を用いた試験操業を行い、その結果をもって、中型いか釣り漁船へのLED灯の普及を推進することを目標とした。

2. LED集魚灯の特徴

これまで、いか釣り漁業用に試験されているLED灯には青色LEDが主に用いられている。青色LEDの発光波長は450～500nmであるが(図1)、この波長の光は海中での消散・減衰が少なく、イカ類の最大視感度波長²⁾に近いことから、青色LEDはいか釣り用集魚灯の光源として優れた特性を備えていると考えられている。

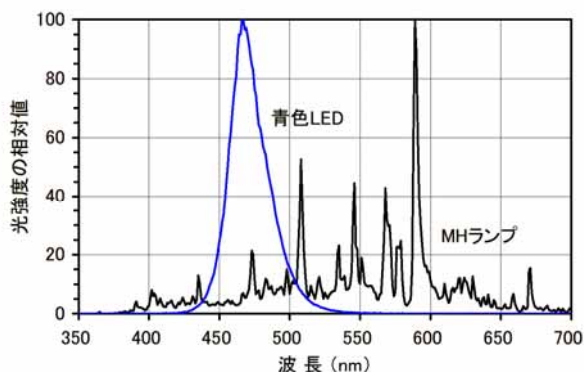


図1 MHランプと青色LEDのスペクトル

(各スペクトルの最大値を100とする相対値)

LEDには、寿命が長い、指向性が強い(図2)、電力消費が少ない、紫外線を放射しない(紫外線LEDを除く)、放電灯には必要な制御用安定器が不要であるなどの特徴がある。このため、集魚灯をMHランプからLEDに代替することにより、集魚灯の交換回数が少なくなる、海中に向かって光を照

射できるので光の無駄がない，電力消費が少なく発電用の燃油を節約できる，紫外線による健康への悪影響がない，安定器が不要なため船内スペースが増加するなどのメリットが生ずる。さらに，燃油消費量の減少にともない， SO_x ， NO_x ， CO^2 などの排出も減少する。このようにLEDは数多くのメリットを持ち，石油資源の節約や環境保全の観点からも次世代の集魚灯として有望であり，現在，その実用化が必須かつ緊急の課題となっている。

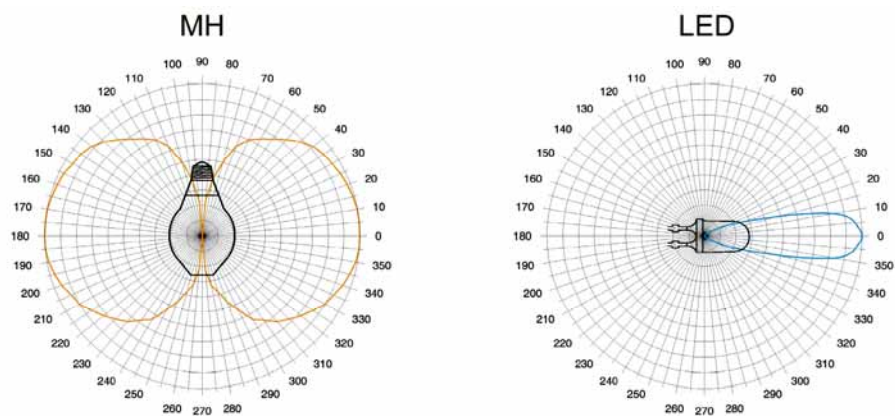


図2 MHランプと青色LEDの配光特性^{3, 4)}

第2章 調査の方法

1. LED集魚灯パネルの設置

本調査には、高木鋼業(株)製の青色LED灯パネルを用いた。このパネルには日亜化学工業(株)製の青色LED (NSPB510S) が950個平面状に取り付けられており、その仕様は、外形寸法:771×250×51mm, 重量:3.0kg, 消費電力:0.07kWであった。このパネルを調査船白山丸(167トン)に合計102枚(前甲板上:38枚, ブリッジ横:10枚, ファンネル横:18枚, 後甲板上:36枚)取り付けした。

前甲板上および後甲板上へのパネルの設置にあたっては、大時化にも耐えうる十分な強度が必要であると考え、トラス構造の鋼管フレームを船体に固定し、このフレームにパネルを設置した。ブリッジ横とファンネル横についても、鋼管フレームを介してパネルを設置した。各パネルは水平面に対して60度の角度で取り付けした(図3, 4)。

社団法人マリノフォーラム21が実施する「青色発光ダイオード集魚灯によるイカつり漁業革命事業」において「LED灯の総合効率はMH灯の32倍以上である」ことが示されている¹⁾。調査船白山丸は、MH灯を234kW(3kW×78灯)装備しており、この総合効率によれば、LED灯パネルの設置枚数は104枚($234\text{kW} \div 32 \div 0.07\text{kW}$)となる。しかし、本調査では準備期間が極めて限られ、パネル調達と取付工事を同時進行したため設置枚数は102枚となった。



図3 調査船白山丸へのLED灯パネルの設置

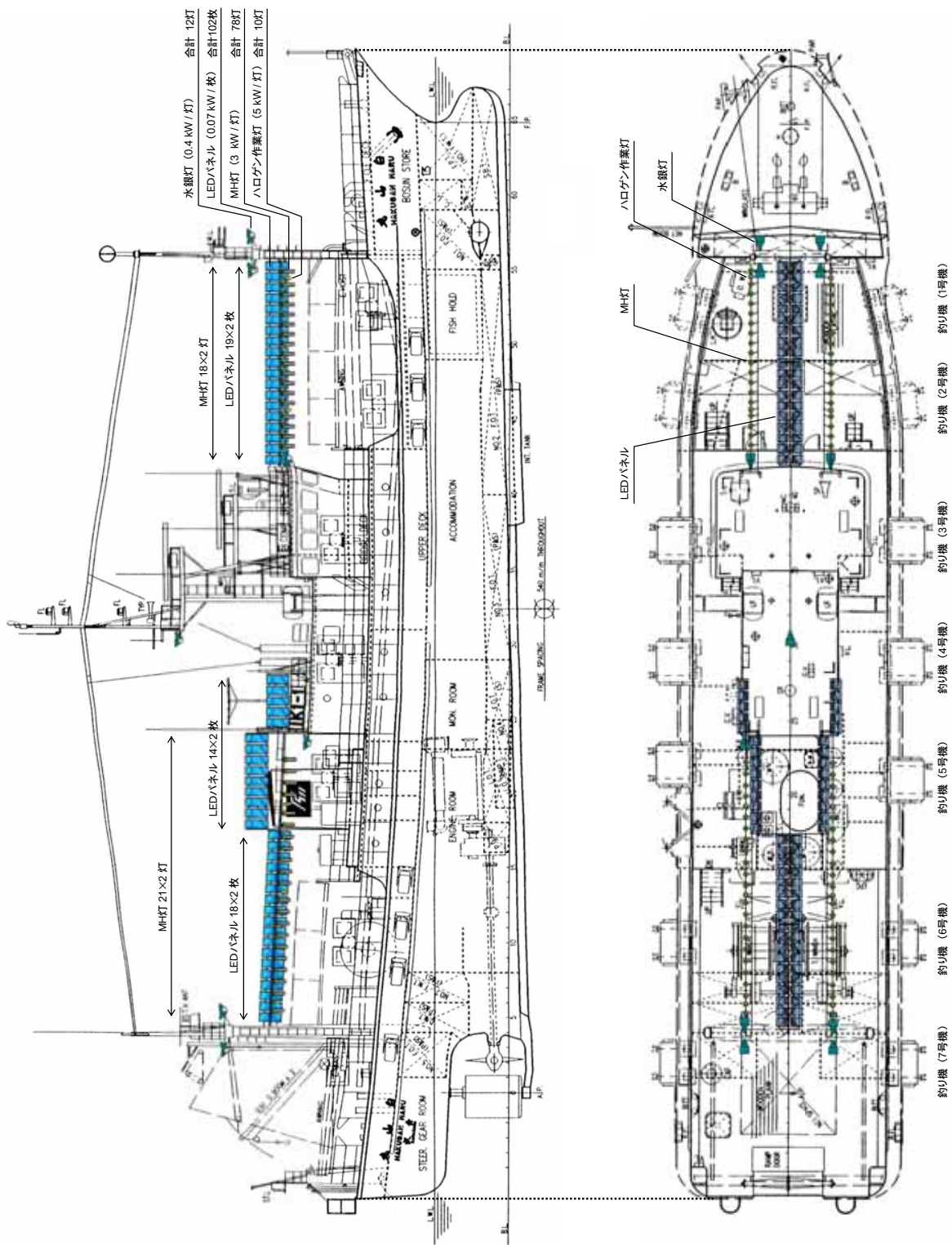


図4 調査船白山丸のいか釣り用集魚灯(MH灯・LED灯)、作業灯、水銀灯の配置

2. 漁獲試験

調査船白山丸には、MH灯234kW(3kW×78灯)が通常装備されており、これにLED灯パネル102枚を追加装備して、MH灯とLED灯の漁獲効率を比較するための操業を実施した。調査期間は平成17年11月12日から25日までとし、大和堆付近の海域(図5)でMH灯とLED灯を単独使用した操業を各5回、両灯を複合使用した操業を1回行った。MH灯とLED灯による各5回の操業のうち、各回1セットの操業はできるだけ漁場移動しないようにした。

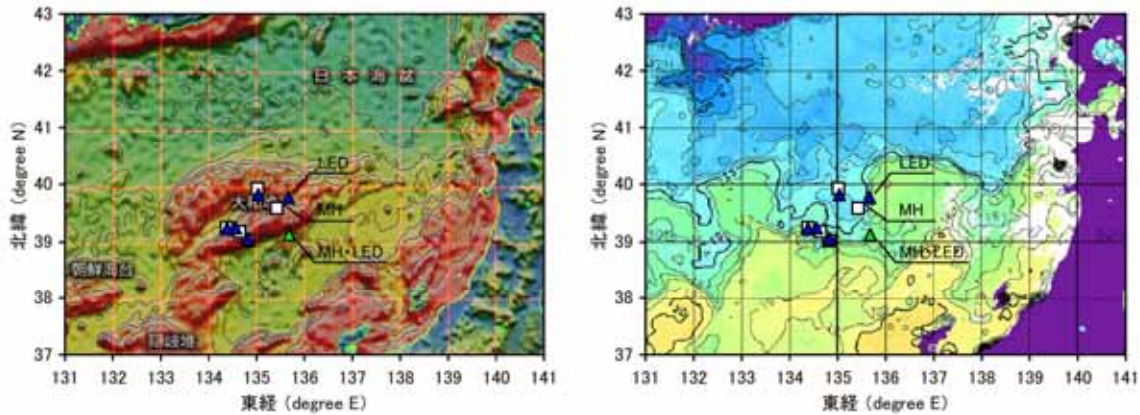


図5 操業海域と海底地形および調査時の海面水温

(海面水温:平成17年11月14日付けNOAA/AVHRR画像, JAFIC提供)

操業点では、パラアンカーを投入して集魚灯を点灯し、テグスに110cm間隔で釣り針24本を連結した自動いか釣り機(株東和電気製作所製 MY-3DP)14台を用い、釣り針の垂下水深を65~75mに設定して操業を行った。操業は17時から翌朝6時までの13時間とし、スルメイカの1時間毎の漁獲尾数を計数してCPUE(釣機1台1時間あたりの漁獲尾数)を求めた。MH灯は点灯後光力が最大に達するまでに約15分間を要することから、操業開始15分前に点灯した。LED灯については、5分間で光力が最大となるようにコントローラーを設定し、操業開始5分前に点灯した。なお、LED灯単独点灯時には、船上が暗くて作業性が悪いので、前半3回のLED灯操業時には前後甲板上のハロゲン灯を4灯点灯し、それ以降のLED灯操業時には水銀灯を12灯点灯して操業を行った。

操業中には適宜、フルノ電気(株)製の魚群探知機(FVC-780)を用いて魚群反応を確認した。23時から24時の間に15分間かけて、1号釣り機、4号釣り機、7号釣り機のガイドローラー下の水深別波長別光強度をアレック電子(株)製の水温深度計(ATD-HR)と分光光量子計(AL8W-CMP)を用いて測定した。なお、魚群反応確認時や光強度測定時には、必要に応じて釣り機の運転を停止した。

3. 燃油消費量調査

調査船白山丸は、1,300PSの主機関を1機、360PSの補機関(補機)と300kVAの発電機を各2機搭載している。操業時には、主機関を停止して補機のみ運転するが、MH灯使用時は電力消費が多い

ため補機を2機, LED灯使用時は電力消費が少ないため補機を1機運転した。作業中には, 1時間毎に補機の燃油消費量を記録した。非作業時にも主機関と補機の燃油消費量を記録した。

4. 海洋観測

各作業点では, 気象や海象を記録するとともに, アレック電子(株)製のSTD (AST1000)を用いて水深300mまでの水温と塩分濃度を測定した。また, 調査期間中には, 人工衛星観測による海面水温図や海面高度図を適宜入手して, 日本海の海況の把握につとめた。

5. 水中光強度測定

平成17年11月30日に石川県能登町沖(位置:37-13.0N 137-09.8E)で, MH灯とLED灯をそれぞれ点灯して水中光強度を測定した。調査船白山丸の前方, 中央および後方の右舷船縁から右舷側に向かって5m, 10m, 20m, 30m, 40mの位置, 船首と船尾の船縁からそれぞれ前方と後方に向かって5m, 10m, 20m, 30mの位置で(図6), 小型船よりアレック電子(株)製の水温深度計(ATD-HR)と分光光量子計(AL8W-CMP)を垂下して水深50mまでの光強度を測定した(図7)。

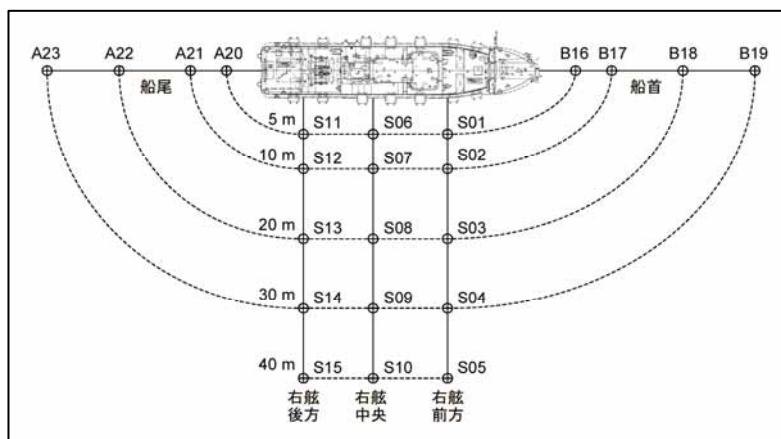


図6 船体周囲の水中光強度の測定位置

本調査に用いた分光光量子計のフィルター特性は図8に示したとおりである。この光量子計のフィルターは分光放射照度計のものよりも半値幅が広く, 8バンドで全ての可視光をカバーできるように設計されている。このうち分光波長488nmのフィルターはスルメイカ視物質の吸収スペクトルに近い特性を有している(資料提供:清道正嗣博士)。また, スルメイカは視物質を一種類しか持たないので色識別の能力はない²⁾。従って, このフィルターを通して得られたデータはスルメイカの目が捉える光強度の感覚に近いと考えることができる。

6. 生物測定

各作業時に漁獲したスルメイカ200尾の外套背長を船上で測定して、階級幅1cmの外套背長組成を求めた。これとは別に作業点毎に30尾を凍結保存して持ち帰り、水産総合センターにおいて生物測定(外套背長, 体重, 性別, 成熟度, 生殖腺重量)を行った。

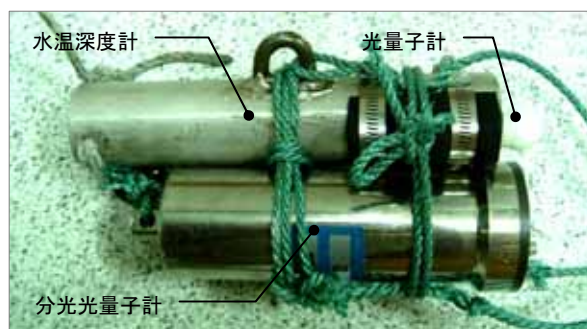


図7 小型メモリー水温深度計と分光光量子計

(各測器の内部時計を正確に合わせることでデータセットを得た)

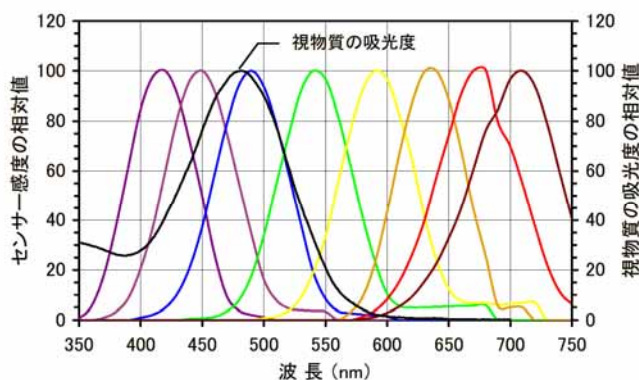


図8 光量子計のフィルター特性と視物質の吸収スペクトル

(各感度曲線および視物質スペクトルの最大値を100とする相対値)

7. 漁船動向調査

調査期間中、石川県の中型いか釣り漁船の作業位置と漁獲状況を聞き取りにより調べた。

8. 船体安定性

船体安定性に及ぼすLED灯パネル設置の影響については、パネル設置前に安定計算により問題ないことを確認し、調査期間中には、船体の動きについて体感的に変化がないかどうか各乗船者が常に意識するようにした。

第3章 結果と考察

1. 調査海域と環境条件

調査期間中には、大陸側の冷水域が東経134度から136度付近の大和堆海域に張り出し、海洋前線が形成されていた(図5)。スルメイカ漁場は前線付近に形成されることが多いため、大和堆の前線付近で試験操業を行った。MH灯とLED灯を単独使用した前半各2回の操業は東経135度以東を漁場探索して実施したが、漁獲尾数が少なかったため、後半各3回の操業は東経135度以西の南大和堆に移動して実施した。MH灯とLED灯を複合使用した操業は、漁船の漁獲情報をうけて、再び東経135度以東の海域に移動して実施した。

操業海域では、水深40m付近まで混合層、水深40～100m付近にかけて躍層がそれぞれ形成されていた(図9)。MH灯とLED灯を単独使用した操業を各5回(5セット)実施したが、操業海域が近い1セット2回の水温の鉛直分布は類似していた。第7次操業終了後、西方に移動した海域で比較的大きな魚群反応が認められたため、この海域で第8次操業と第9次操業を行い、第10次操業は再び第7次操業を実施した海域に近い所に戻って操業を実施した。従って、第1次と第2次(No.1)、第3次と第4次(No.2)、第5次と第6次(No.3)、第7次と第10次(No.4)、第8次と第9次(No.5)の操業がそれぞれセットとなる(図9)。

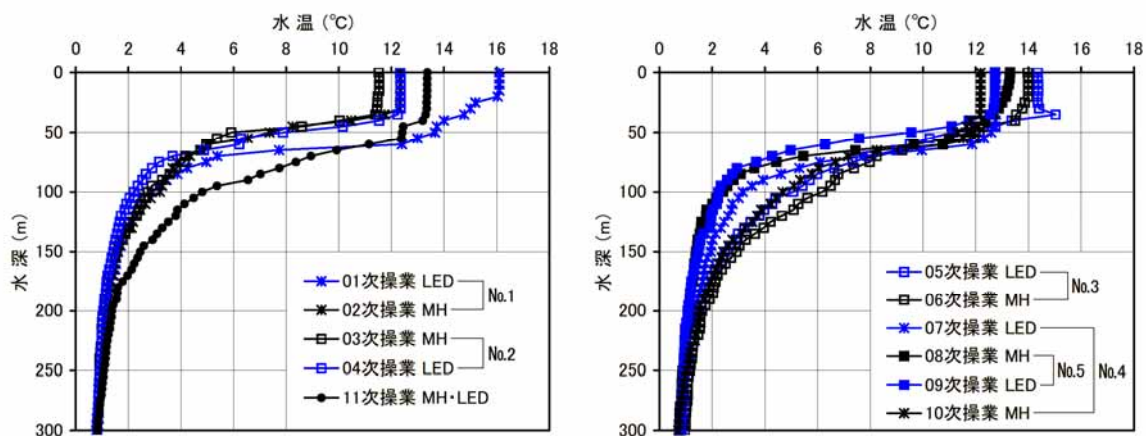


図9 操業海域における水温の鉛直分布

調査期間中、風が比較的強く、波も高い日が多かったが、11月20日午後および22日午後から23日午前には風力、波浪とも低下した(図10)。月については、11月16日が満月(月齢14.1)であり、月の輝く部分の割合を示す月輝面比は11月16日以降低下して、11月23日には0.54となった。操業初日の月出は操業開始前の15時4分、月入は操業終了前の4時23分であったが、その後、月出と月入の時刻は遅くなり、調査期間の後半には、操業中に月出、操業終了後に月入するようになった。

2. 漁獲成績

MH灯とLED灯を単独使用して操業した結果、CPUEはMH灯使用時には3.8～40.0、LED灯使用時には2.0～15.6の範囲で変化した(図11, 12)。同一集魚灯を用いた操業でも漁獲成績(CPUE)が大きく異なったのは、資源密度が安定した漁場が広範囲に形成されなかったことに加えて、風や波などの洋上条件が一定しなかったためと考えられる。これに関連して、第8次操業(No.5のMH灯操業)は漁獲成績が良好であったが、これは風ぎであったことも関係していると思われる。中型いか釣り漁船では、満月頃に漁獲量が減少することが多い。本調査では、後半に漁獲成績が向上する傾向にあったが、これは操業場所を移動したことに加えて、11月16日の満月から月が次第に欠けていったことも関係しているように思われる。

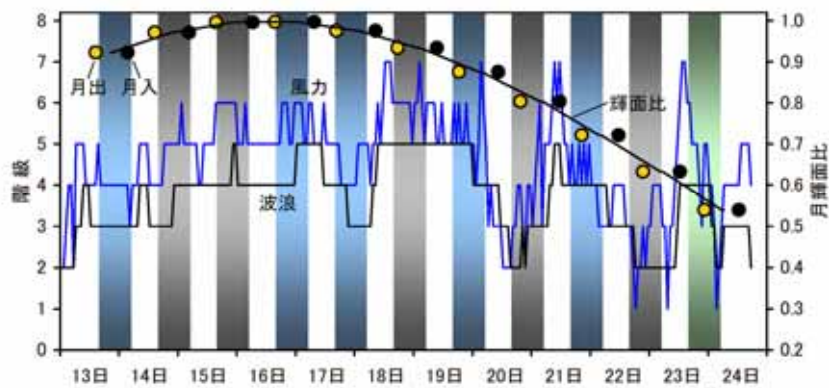


図10 調査期間中の風力・波浪・月の状況(月出と月入の時刻・輝面比)

(青色, 灰色, 緑色の帯はLED灯単独操業, MH灯単独操業, MH・LED灯複合操業の時間帯を示す)

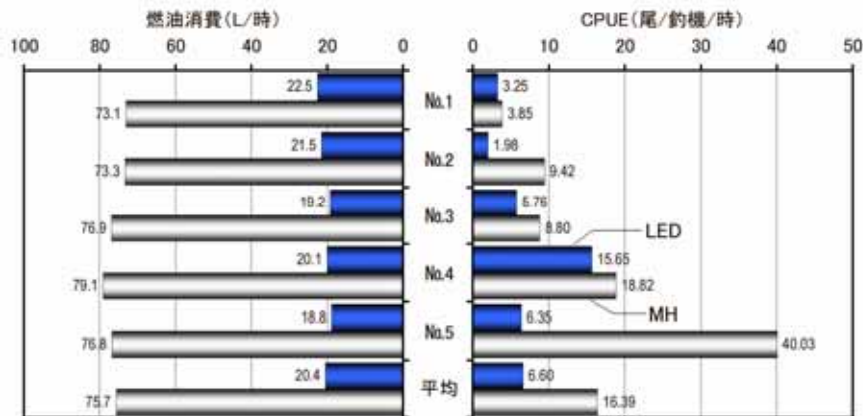


図11 MH灯およびLED灯を単独使用した操業時のCPUEと補機燃油消費量

以上のように漁獲成績には様々な要因が影響していると考えられるが、両灯を単独使用した場合の漁獲成績を比較すると、総漁獲尾数はMH灯で14,233尾、LED灯で5,889尾、総漁獲尾数を総漁

獲努力量で除した平均CPUEはMH灯で16.4, LED灯で6.6であり, 今回の条件下におけるLED灯の漁獲効率はMH灯の41%となった。MH灯使用時の漁獲成績が極端に良かった第8次操業とこれと対になる第9次操業を除いた4セットで比較しても, CPUEはMH灯で10.3, LED灯で6.7であり, LED灯はMH灯よりも漁獲効率が低い結果となった。

第11次操業では, MH灯を17時から1時まで, LED灯を23時から6時までそれぞれ点灯して試験を行った(図12)。MH灯を単独点灯した17時から23時までとMH灯とLED灯の両方を全て点灯した23時から1時までのCPUEは7.3から20.1であったが, LED灯の単独点灯となった直後1時間のCPUEは49.6に向上した。その後, CPUEは低下したが, 3時以降も22前後の比較的高い値で推移した。

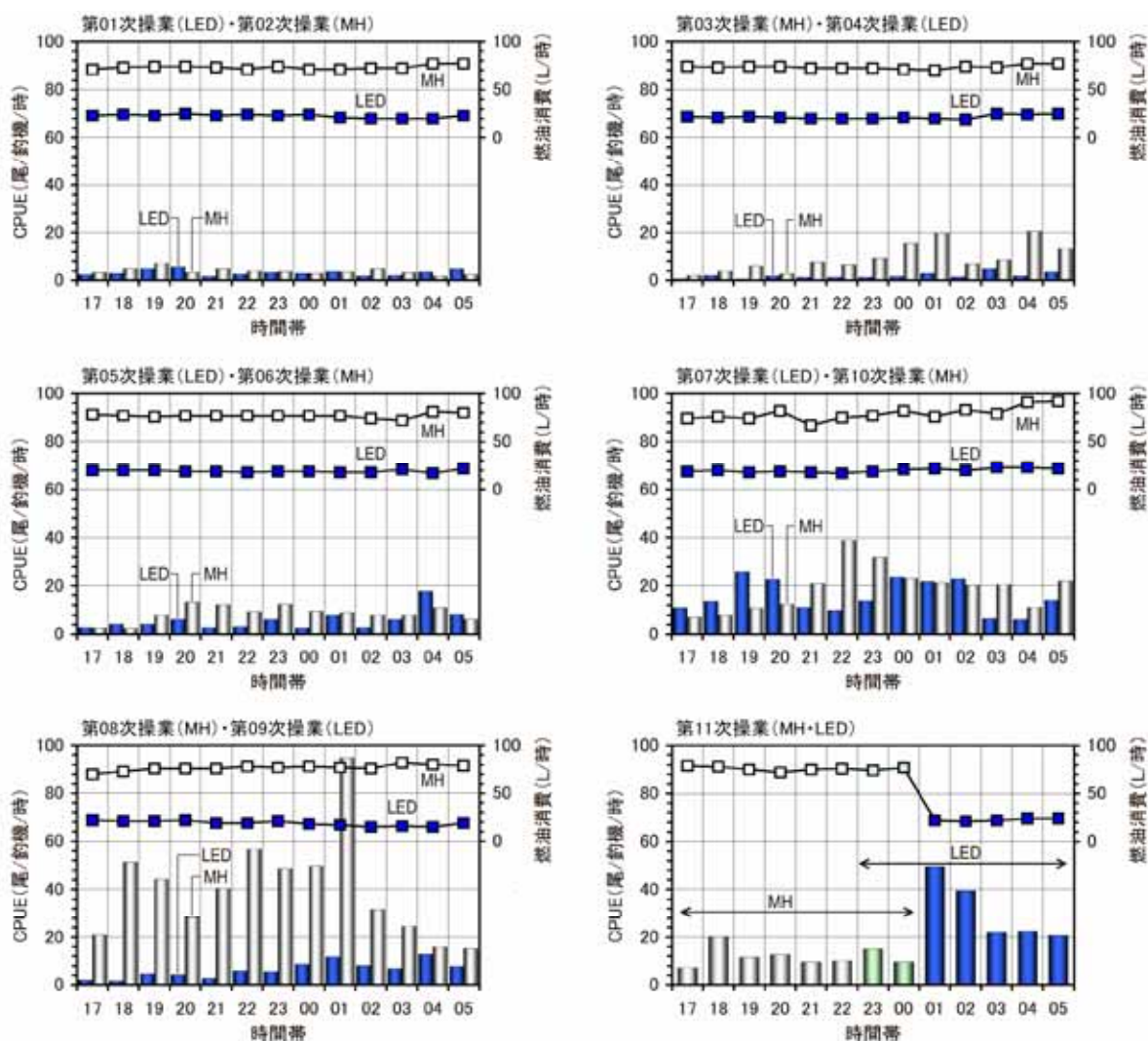


図12 各試験操業時における1時間毎のCPUEと補機燃油消費量の推移

集魚灯には, イカを集魚して船体下に滞留させ, 釣り針を視認させる機能があり, これらの過程を経てイカは釣り針にとびつき漁獲される。従って, MH灯とLED灯の有効性を比べる場合, これらの機能それぞれを考える必要がある。今回, 両灯を単独使用した試験では, LED灯はMH灯よりも漁獲効

率が低い結果が得られており、LED灯は集魚、滞留、視認の何れかにおいてMH灯よりも劣ると考えられる。一方、両灯を複合使用した試験では、MH灯からLED灯に完全に切り替わったあとで漁獲成績が向上しており、船体下に滞留したスルメイカに対して釣り針を視認させる機能については、LED灯は十分な能力を備えていると考えられる。従って、LED灯を単独使用した操業で漁獲成績が振るわないのは、LED灯の集魚能力がMH灯よりも劣るためと思われる。事実、LED灯を単独使用するよりもMH灯と複合使用したほうが漁獲成績は良いという結果が複数報告されている^{5, 6)}。これは、MH灯と複合使用することによりLED灯の集魚能力の低さが補われるためではないかと推測される。

3. 燃油消費量

両灯を単独使用した操業時の補機の平均燃油消費量は、MH灯で75.7L/時、LED灯で20.4L/時であった(図11)。LED灯点灯時の燃油消費はMH灯点灯時の27%であり、LED灯を使用することで燃油を大幅に節減できることがわかった。また、集魚灯を点灯していない時の補機の平均燃油消費量は20.2L/時であった。従って、集魚灯点灯に伴う燃油消費量の増加は、MH灯で55.5L/時、LED灯で0.2L/時であり、LED灯点灯のために実質消費される燃油は極僅かであった。

本調査航海について、MH灯だけ用いて実施した場合とLED灯だけ用いて実施した場合の燃油代(主機関を含む)をA重油の単価を60円/Lとして試算すると、燃油代は、MH灯だけの場合には1,406千円、LED灯だけの場合は920千円となり、集魚灯をMH灯からLED灯に完全に代替することにより燃油代486千円が節約されると試算された。

4. 操業時の魚探反応

魚群探知機を用いて操業中の船体下の反応を確認した(図13~20)。魚探画像に見られるV字型の反応は釣り針の軌跡であり、水深20m以浅の強い反応は気泡と考えられる。画像のなかで横方向か斜め方向に束状の線として映っている比較的明瞭な反応がスルメイカであると思われる。

LED灯を単独使用した第1次操業では、表層から水深100mの範囲で広く反応がみられたが、漁獲尾数は少なかったことから、これらの反応の多くはスルメイカではなかったと考えられる。LED灯を単独使用した第4次操業、第7次操業、第9次操業では、水深60m以浅にスルメイカと思われる反応がみられるが、濃密な反応は認められなかった。一方、MH灯を単独使用した第3次操業、第8次操業、第10次操業では、水深100m以浅にスルメイカと思われる反応が認められた。特に漁獲成績が良好であった第8次操業では、23時以降非常に濃密な反応がみられ、2時の魚探画像には釣り針に追従するスルメイカと思われる反応が認められた。

MH灯とLED灯を複合使用した第11次操業では、23時以降濃密な反応が認められた(図20)。両灯を同時点灯した直後の23時には、反応は水深30~50mを中心にみられたが、同時点灯1時間後の0時には、反応は水深30~80mに拡散した。MH灯を消灯してLED灯のみの点灯となる1時に釣り機を停止し、MH灯消灯の影響をみたところ、消灯直後に反応が水深20~70mに移動する様子が観

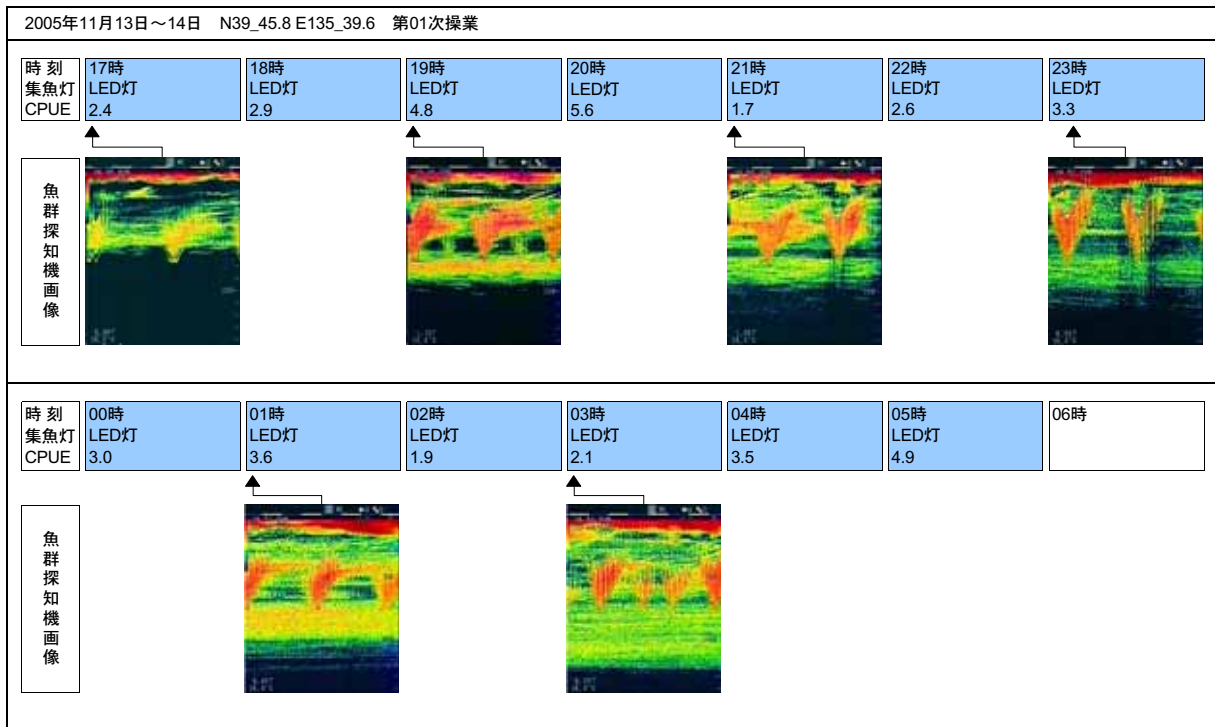


図13 第1次操業時の魚群探知機画像

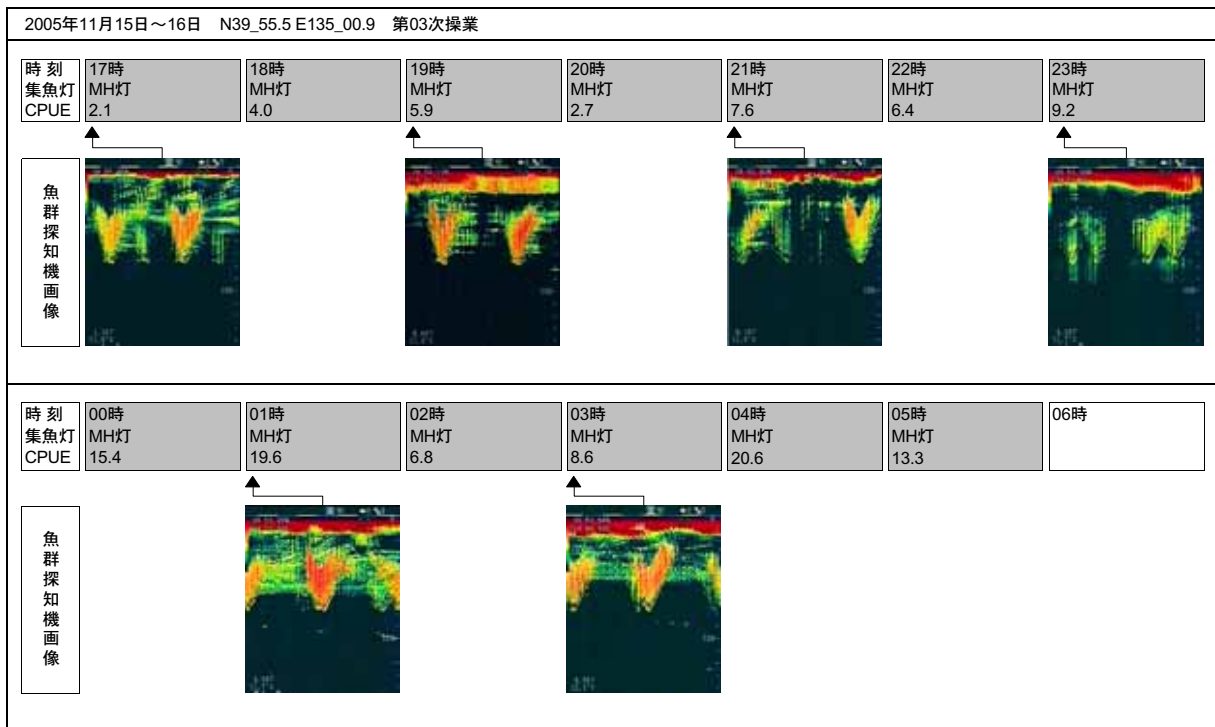


図14 第3次操業時の魚群探知機画像

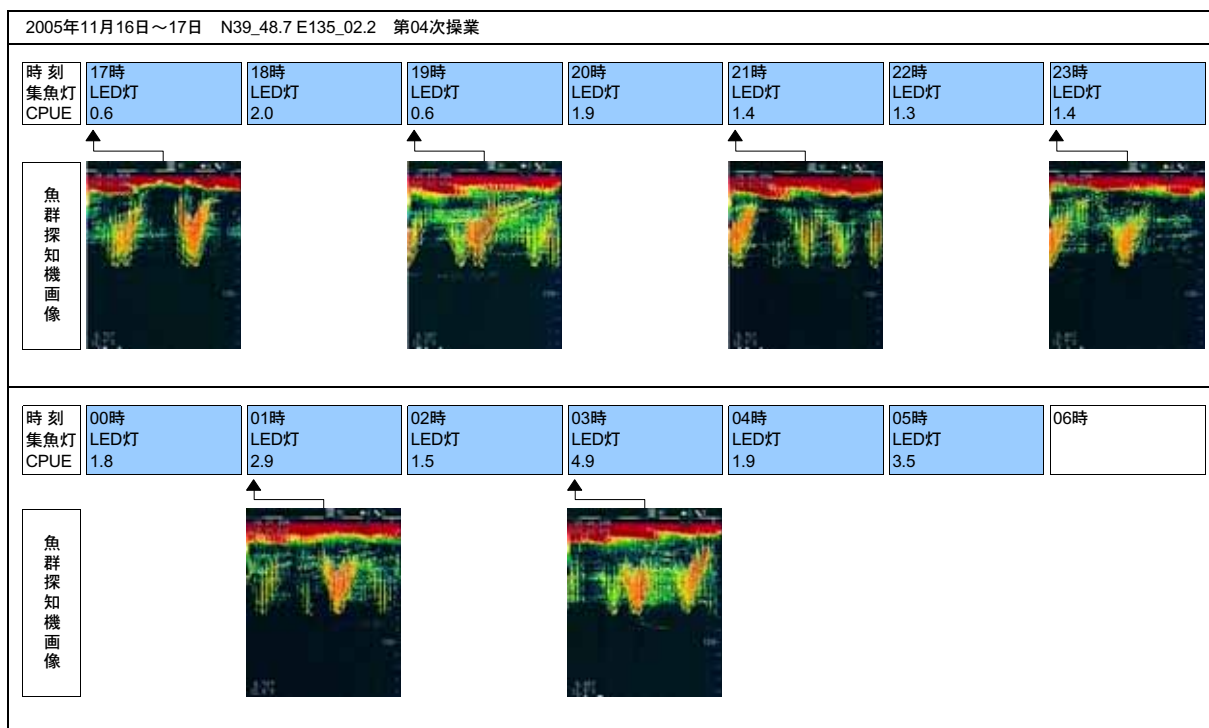


図15 第4次操業時の魚群探知機画像

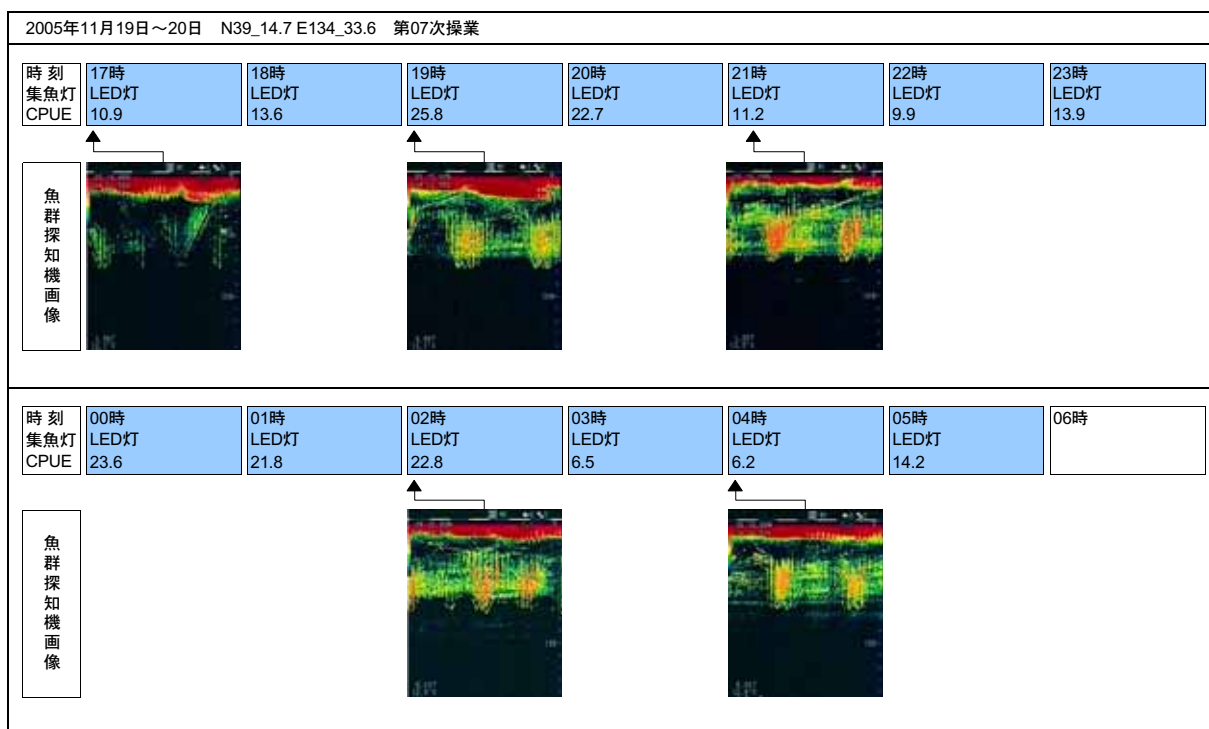


図16 第7次操業時の魚群探知機画像

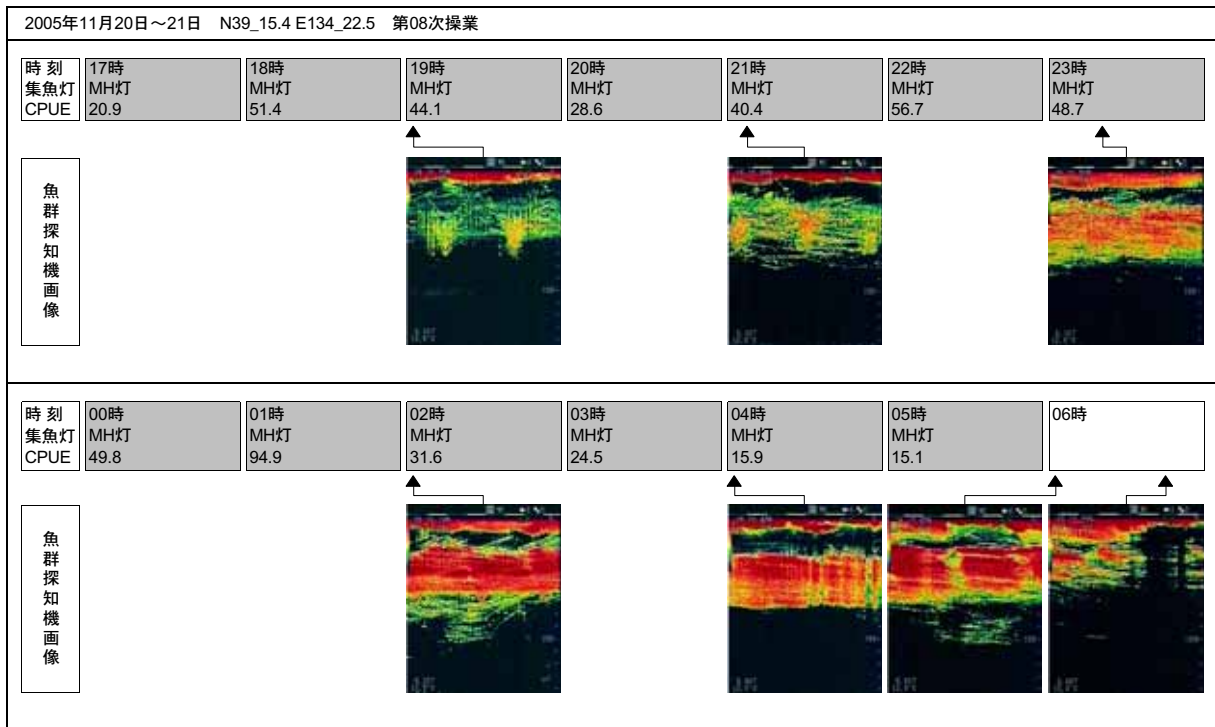


図17 第8次操業時の魚群探知機画像

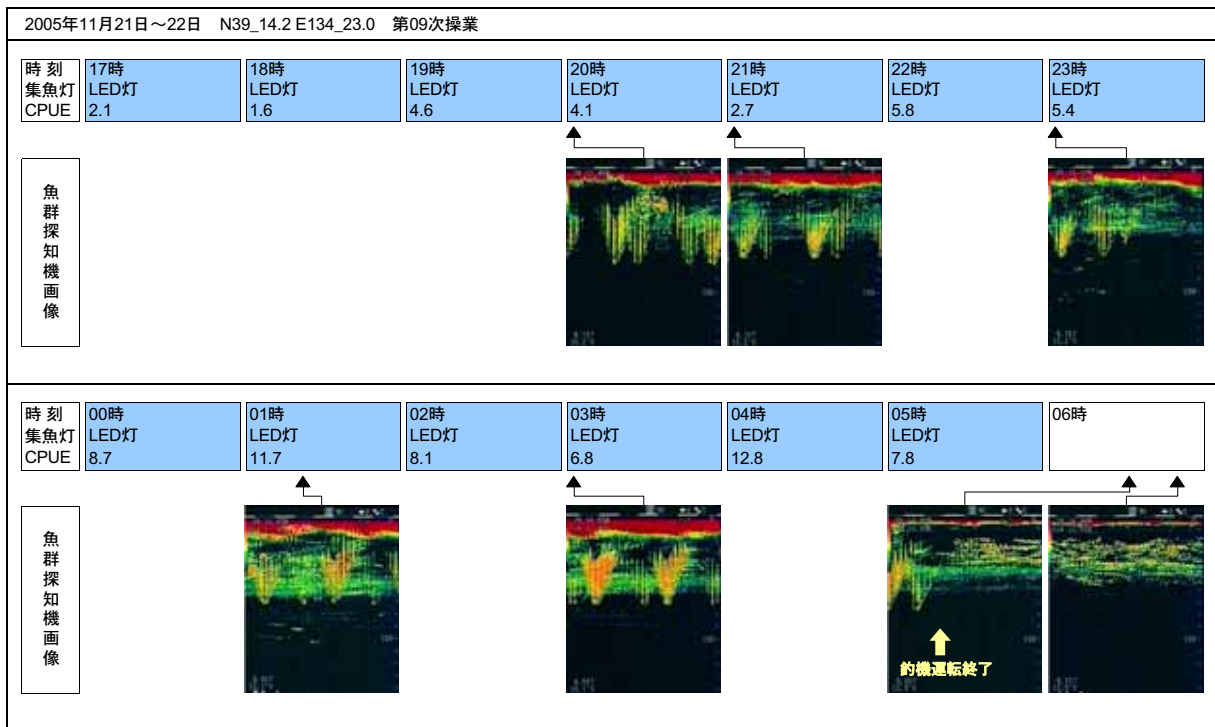


図18 第9次操業時の魚群探知機画像

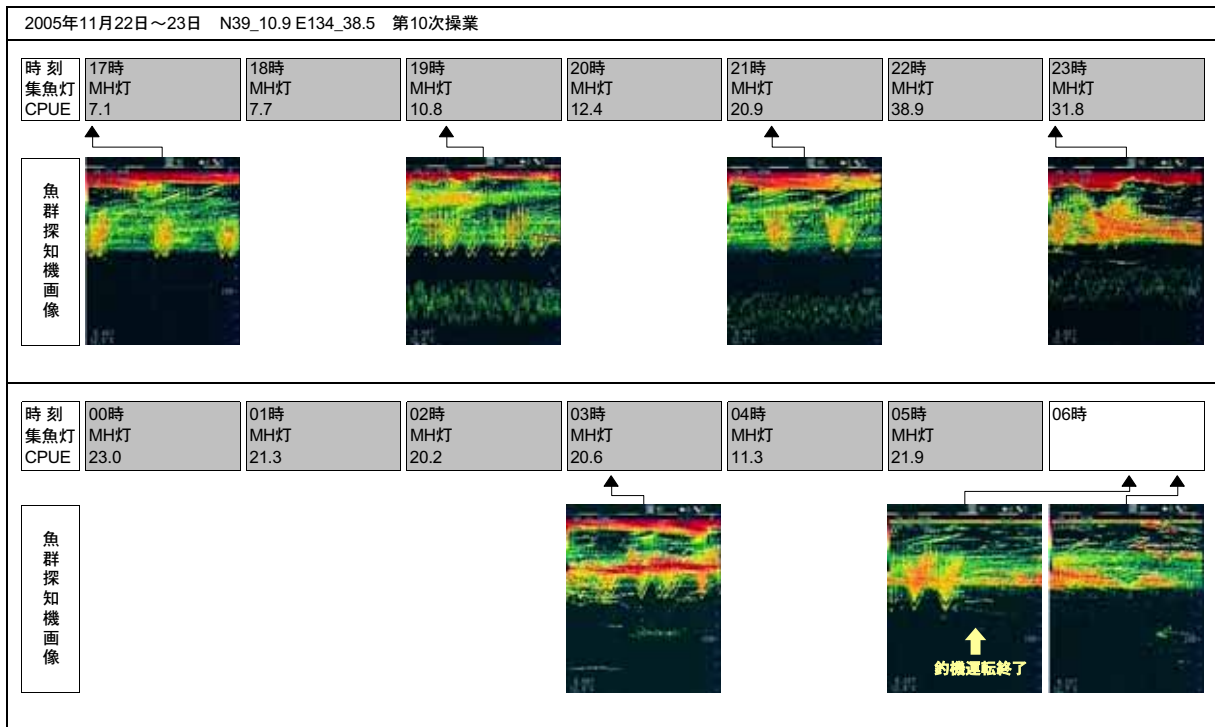


図19 第10次操業時の魚群探知機画像

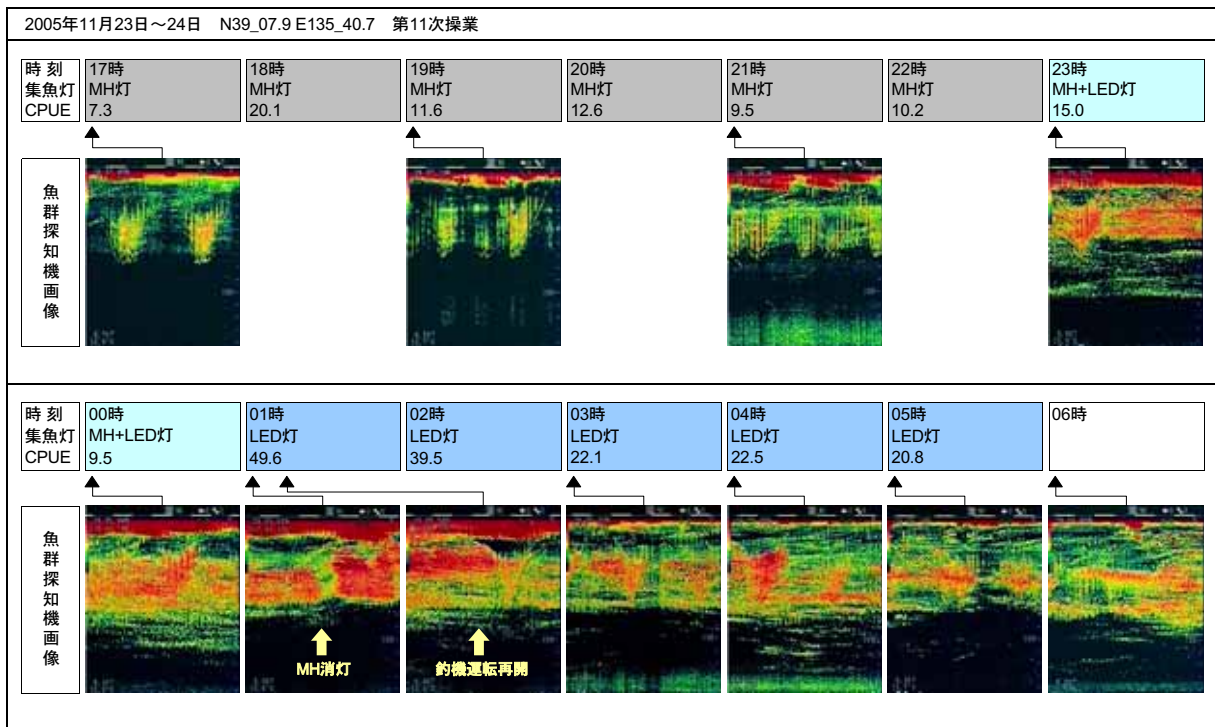


図20 第11次操業時の魚群探知機画像

察された。そして、釣り機の運転を再開すると、釣り針の下降に追従して反応が水深30～80mに移動し、操業終了時まで反応は水深30～80m付近を中心に認められた。

以上のように、横か斜め方向に束状の線として映っている反応が釣り針の動きに呼応して速やかに移動することから、この反応はスルメイカであると判断できる。両灯を単独使用した操業では、操業毎に分布水深が多少異なっており、集魚灯による分布の違いは明らかでなかった。しかし、両灯を複合使用した操業では、分布水深はMH灯点灯時に30～50mであったのに対して、LED灯点灯時には30～80mであり、LED灯点灯時に分布水深が拡散する傾向が認められた。

集魚灯による分布水深の違いについては、今回の僅かな結果だけで判断はできないが、両灯のスペクトルが原因して分布水深に違いが生ずる可能性はある。つまり、LED灯は海中で消散が少ない光を放射しているため、消散が著しい光を多く放射するMH灯に比べると、スルメイカにとって好適な明るさの水深帯が幅広く形成される可能性がある。即ち、LED灯はMH灯に比べて、スルメイカを特定の水深帯に集約する効果が低いことも想定される。もし、両灯で分布水深に違いが生ずるのであれば、釣り機の巻下げ水深、釣り針の間隔や個数をLED灯に合わせて調整することも考えなければならないので、今後は操業中のスルメイカの分布水深についてデータを蓄積する必要がある。

5. 船体周囲の水中光強度

MH灯とLED灯の単独点灯時における船体周囲の水中光強度分布は図21～28に示したとおりである。スルメイカの視感度特性に近い波長488nmのフィルターによる結果をみると(図23)、MH灯とLED灯はいずれも船縁より5～10m付近の海面を最も強く照らしていたが、水中光の分布パターンは両灯で異なっていた。即ち、光の指向性が強いLED灯では斜め下方向を中心軸として光が広がっており、距離が遠くなると海面に近い上層で光強度が弱くなる傾向がみられたが、点光源であるMH灯では海面が広く照らされており、上層付近での光強度の低下はみられなかった。このように、両灯点灯時の水中光分布には、光源の配光特性を反映したパターンがみられた。船影の形成状況については、両灯間で大きな違いはなかった。光強度は、両灯とも光源から遠いほど低下するが、右舷前方、中央および後方のどの位置でも、LED灯はMH灯に比べて光強度が低かった。右舷側水深10m以深の光強度の平均値を比較すると、LED灯の光強度はMH灯の34%であった。船首前方と船尾後方については、それぞれバウデッキとスパンカーの陰になっているため、MH灯とLED灯のいずれでも光強度は著しく低かった。

青色LEDは波長470nmをピークとする450～500nmの光を放射しているため、488nm以外の波長ではLED灯の光はほとんど測定されなかった。これに対して、MH灯では、488nmを含む全ての波長で光が測定され、589nm以下の波長では船縁から20mの位置でも水深15～30m付近まで光強度は比較的強かった。しかし、MH灯でも629nm以上の波長になると水深5m以浅で大部分の光が消散しており、光の到達範囲は狭い範囲に限定されることがわかった。

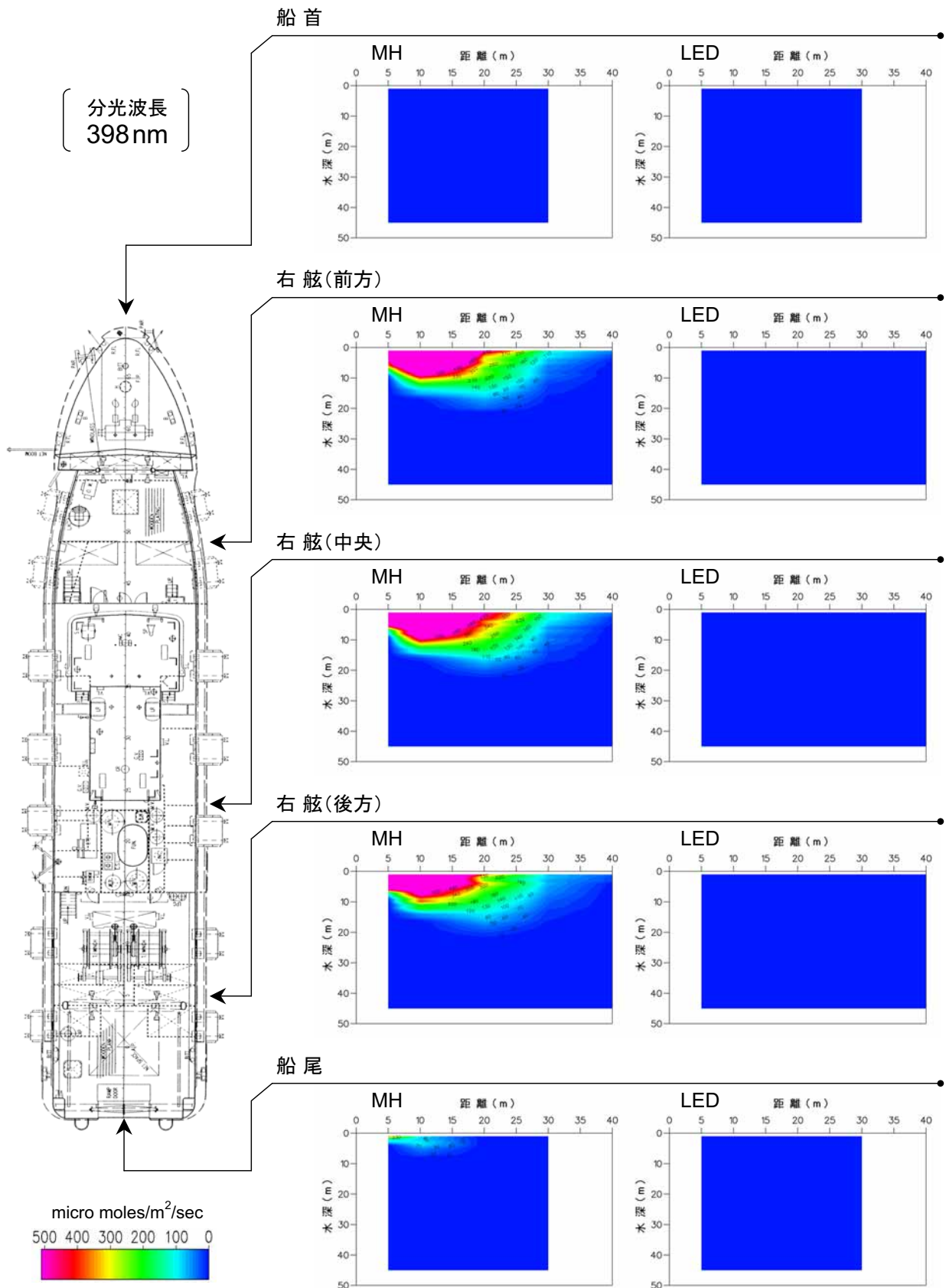


図21 MH灯およびLED灯点灯時の水中光強度の鉛直断面(分光波長:398nm)

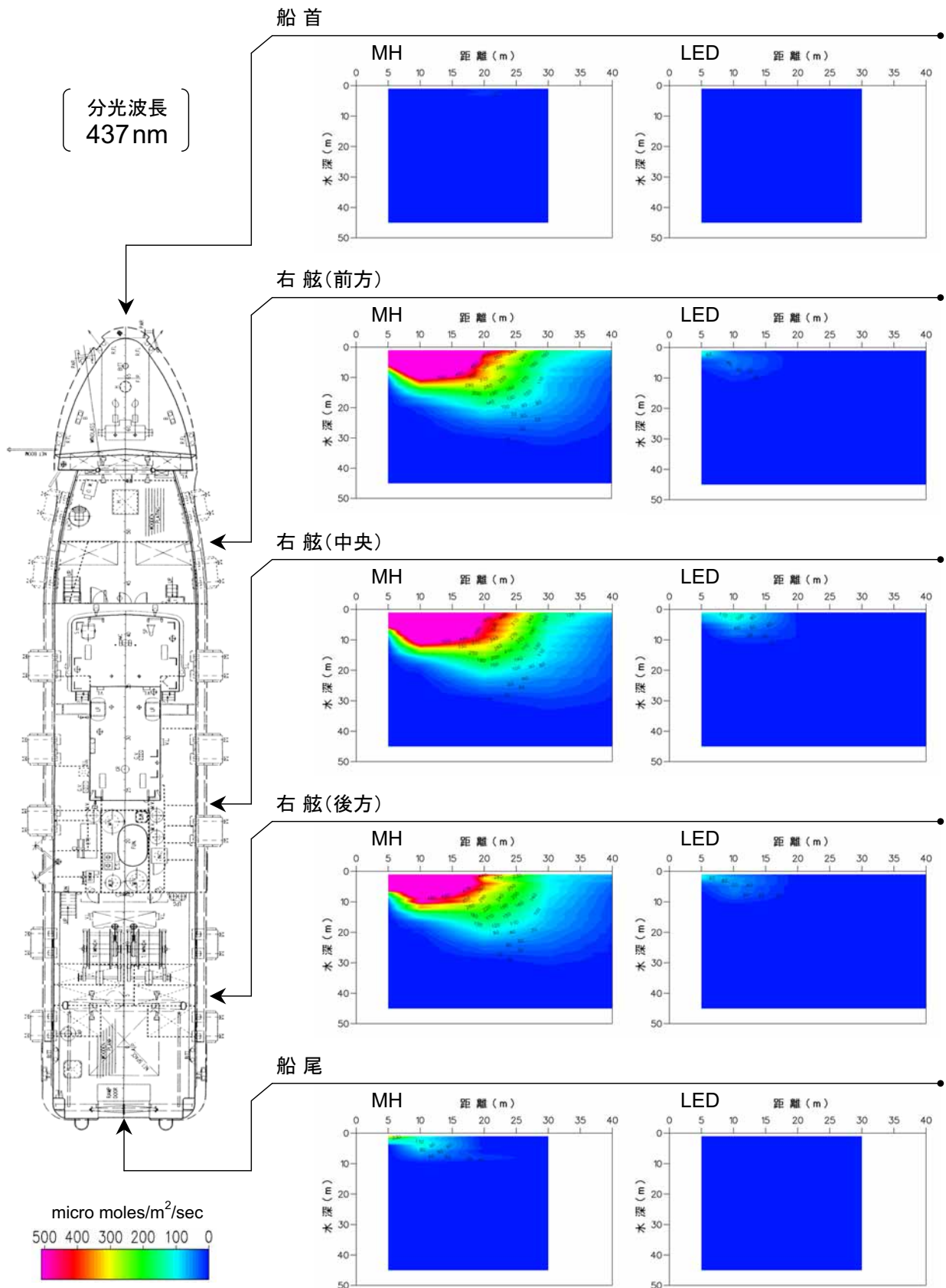


図22 MH灯およびLED灯点灯時の水中光強度の鉛直断面(分光波長:437nm)

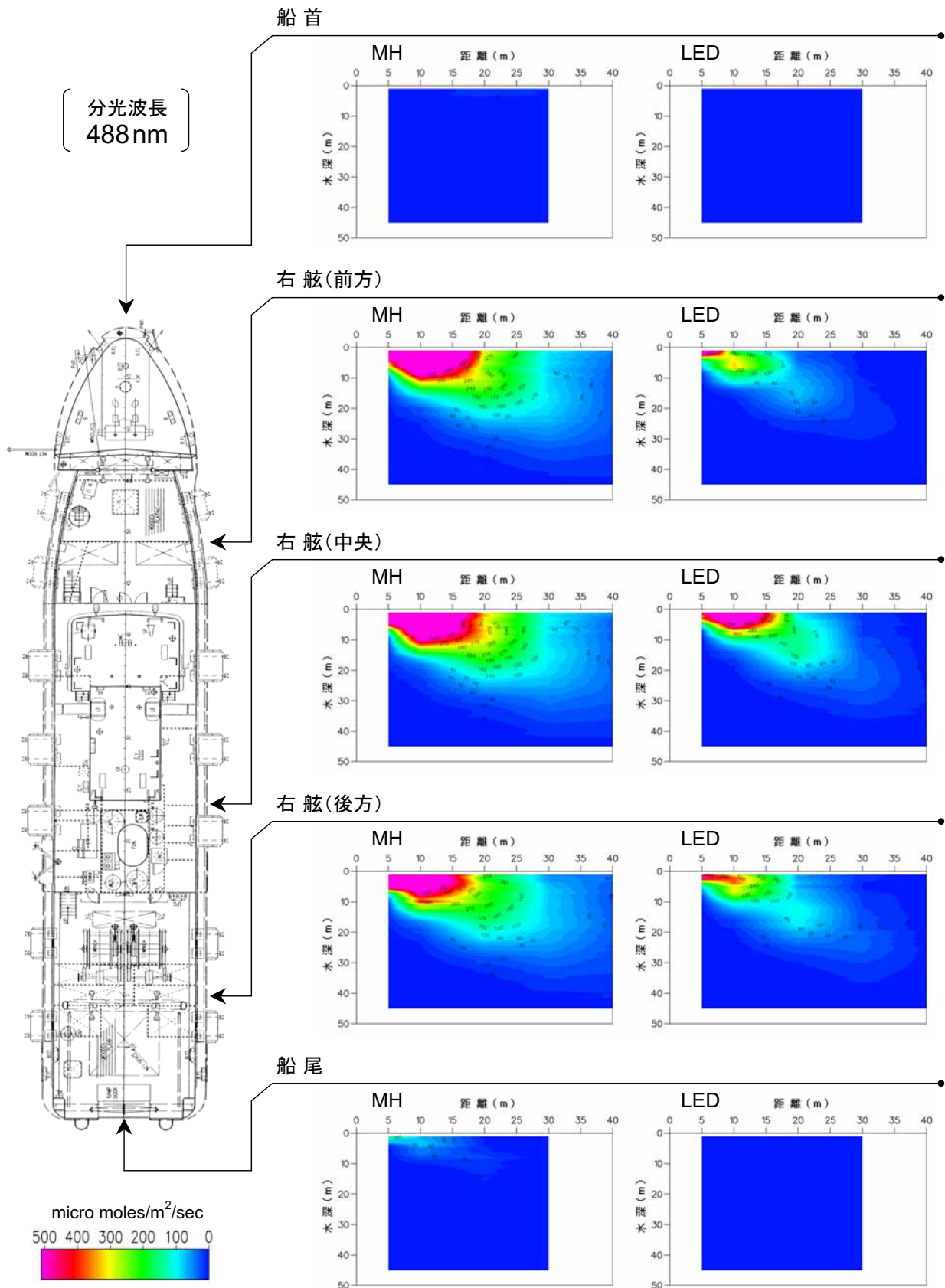


図23 MH灯およびLED灯点灯時の水中光強度の鉛直断面(分光波長:488nm)

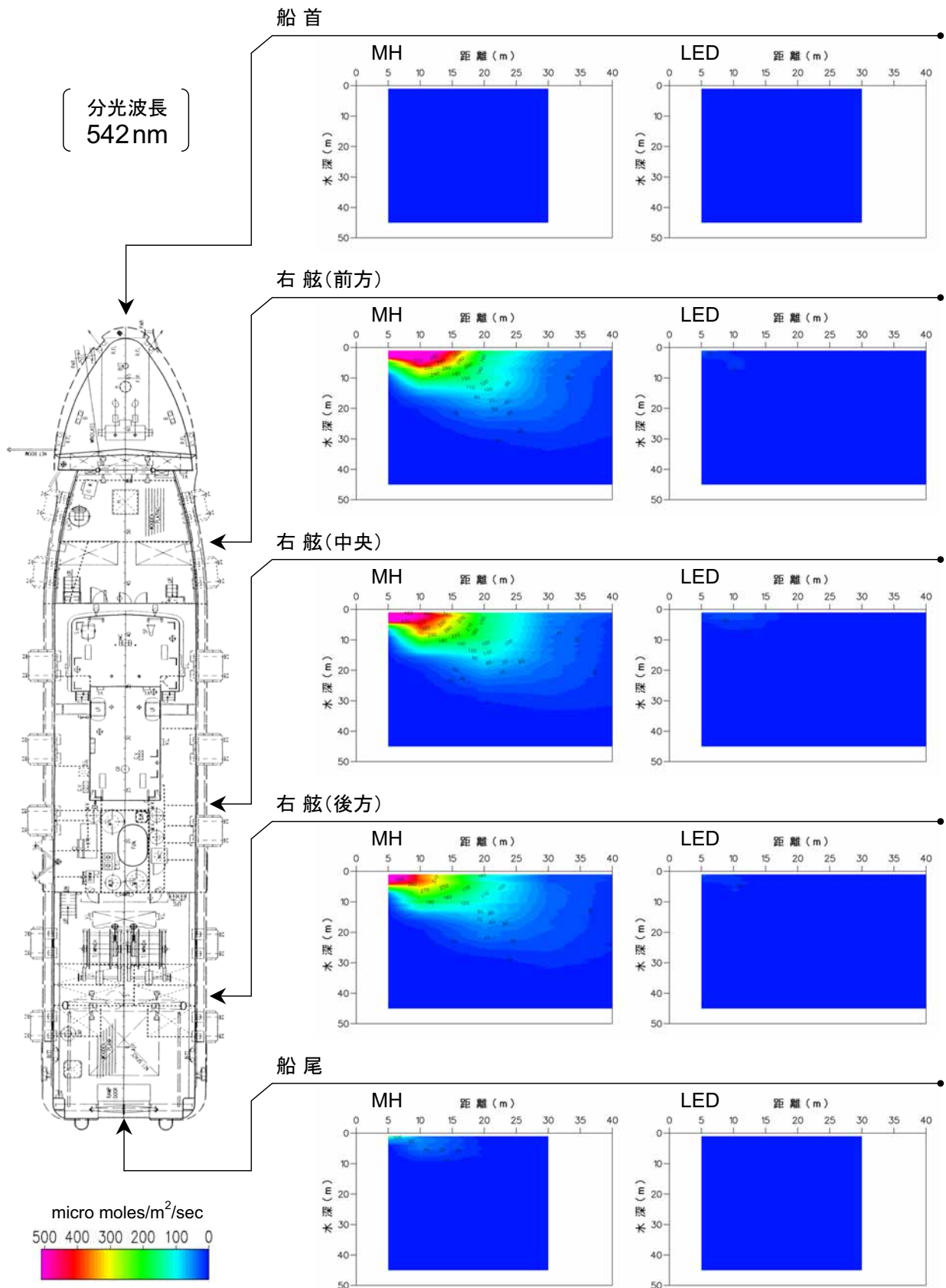


図24 MH灯およびLED灯点灯時の水中光強度の鉛直断面(分光波長:542nm)

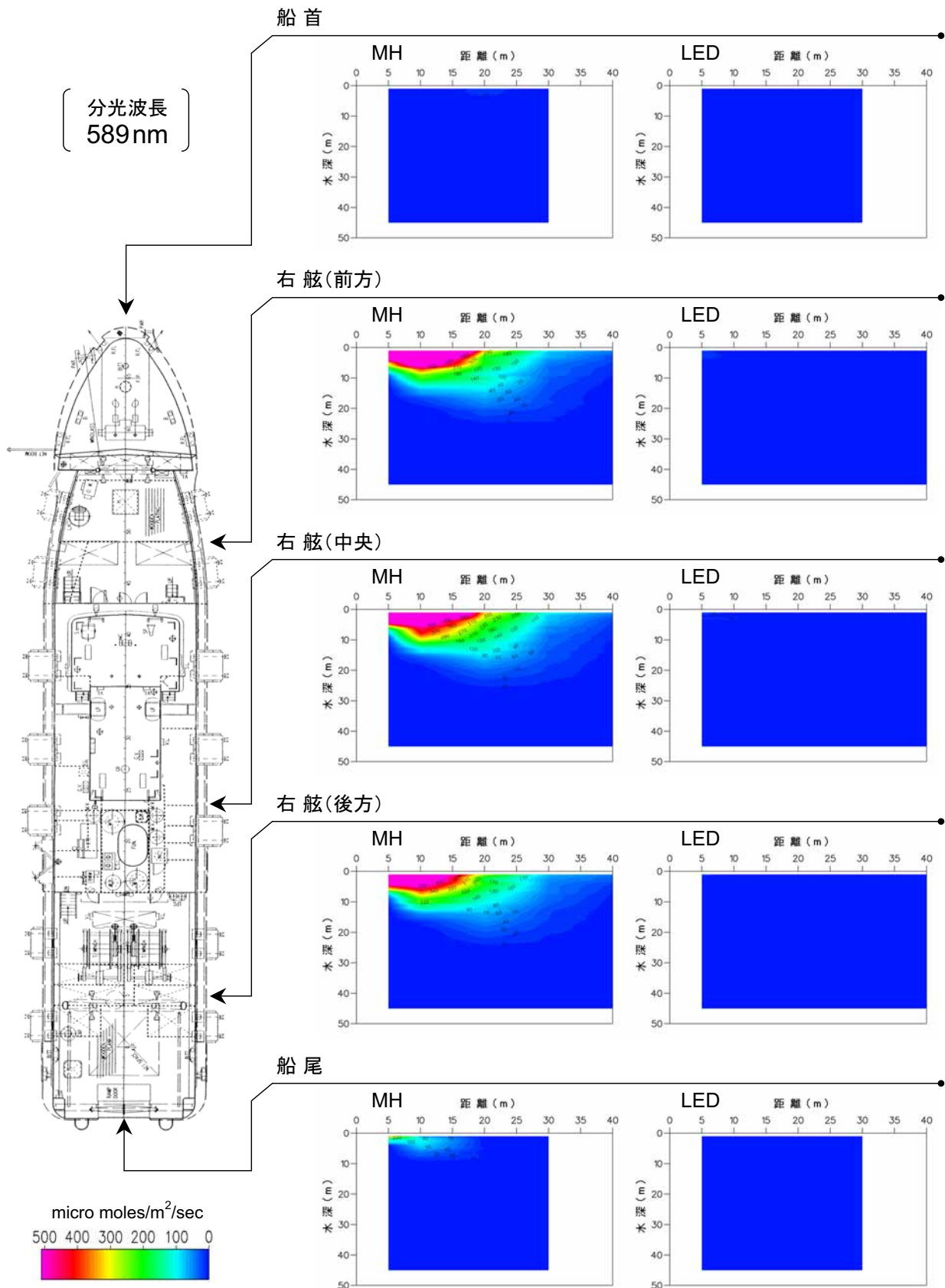


図25 MH灯およびLED灯点灯時の水中光強度の鉛直断面(分光波長:589nm)

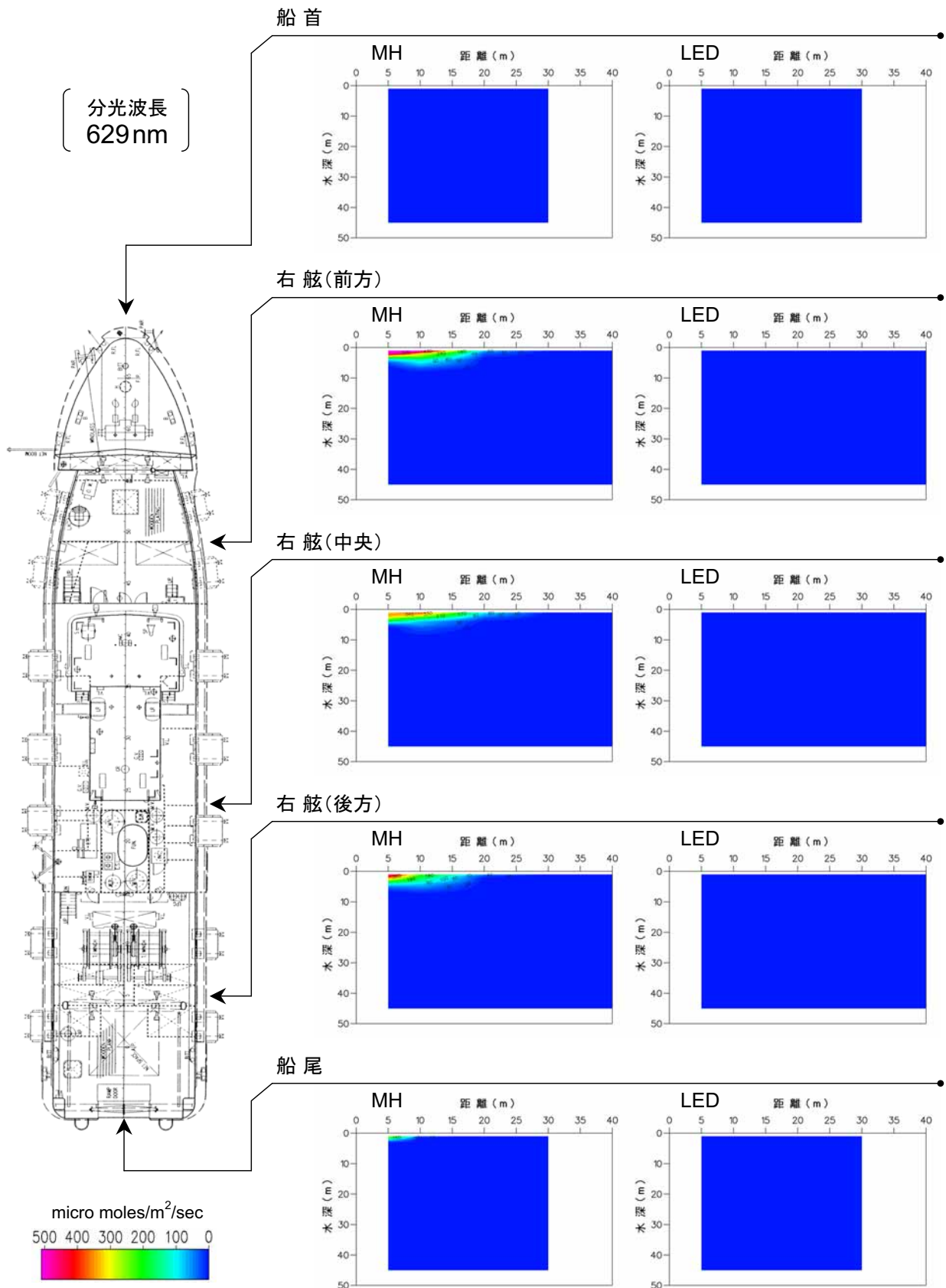


図26 MH灯およびLED灯点灯時の水中光強度の鉛直断面(分光波長:629nm)

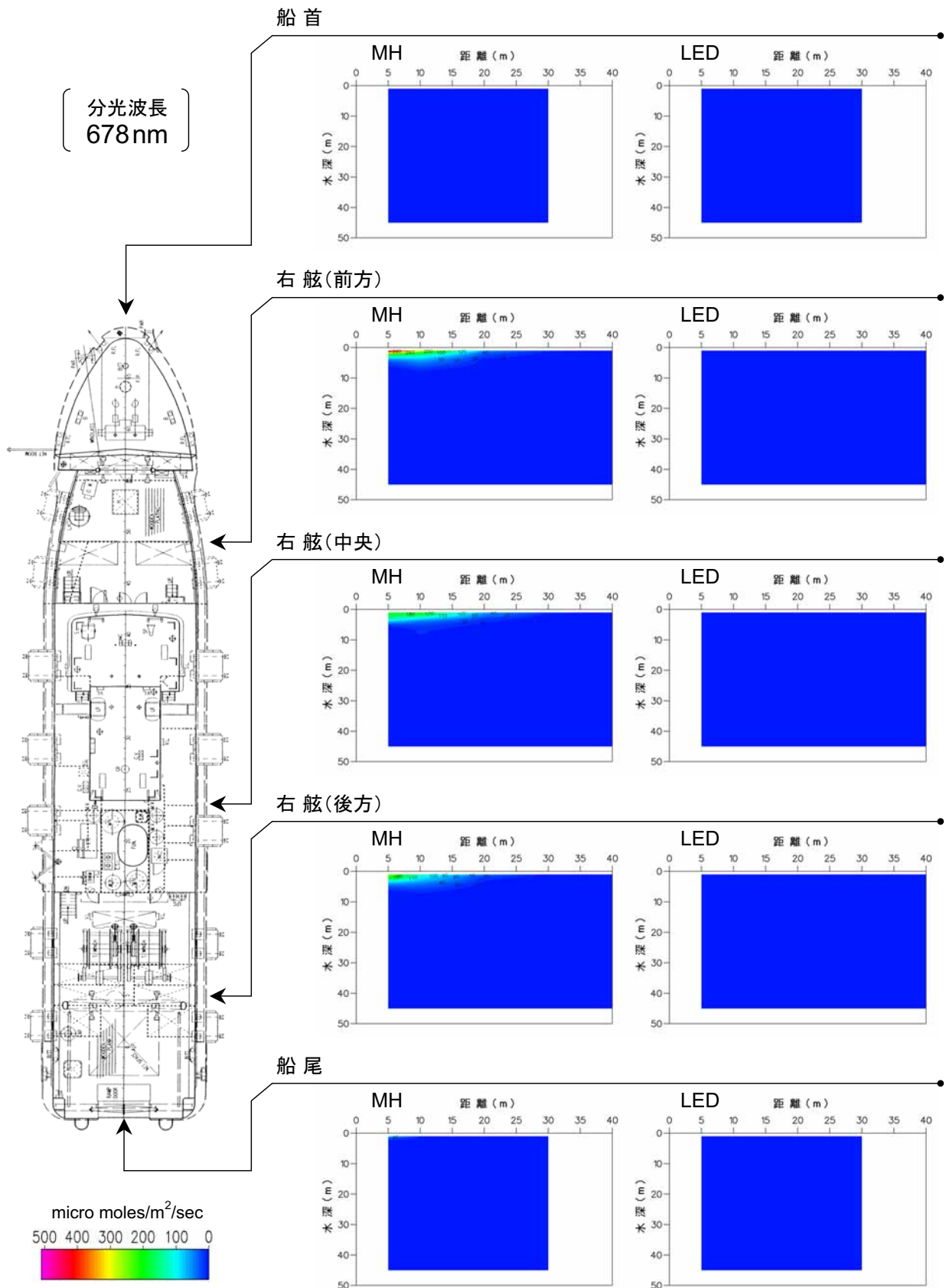


図27 MH灯およびLED灯点灯時の水中光強度の鉛直断面(分光波長:678nm)

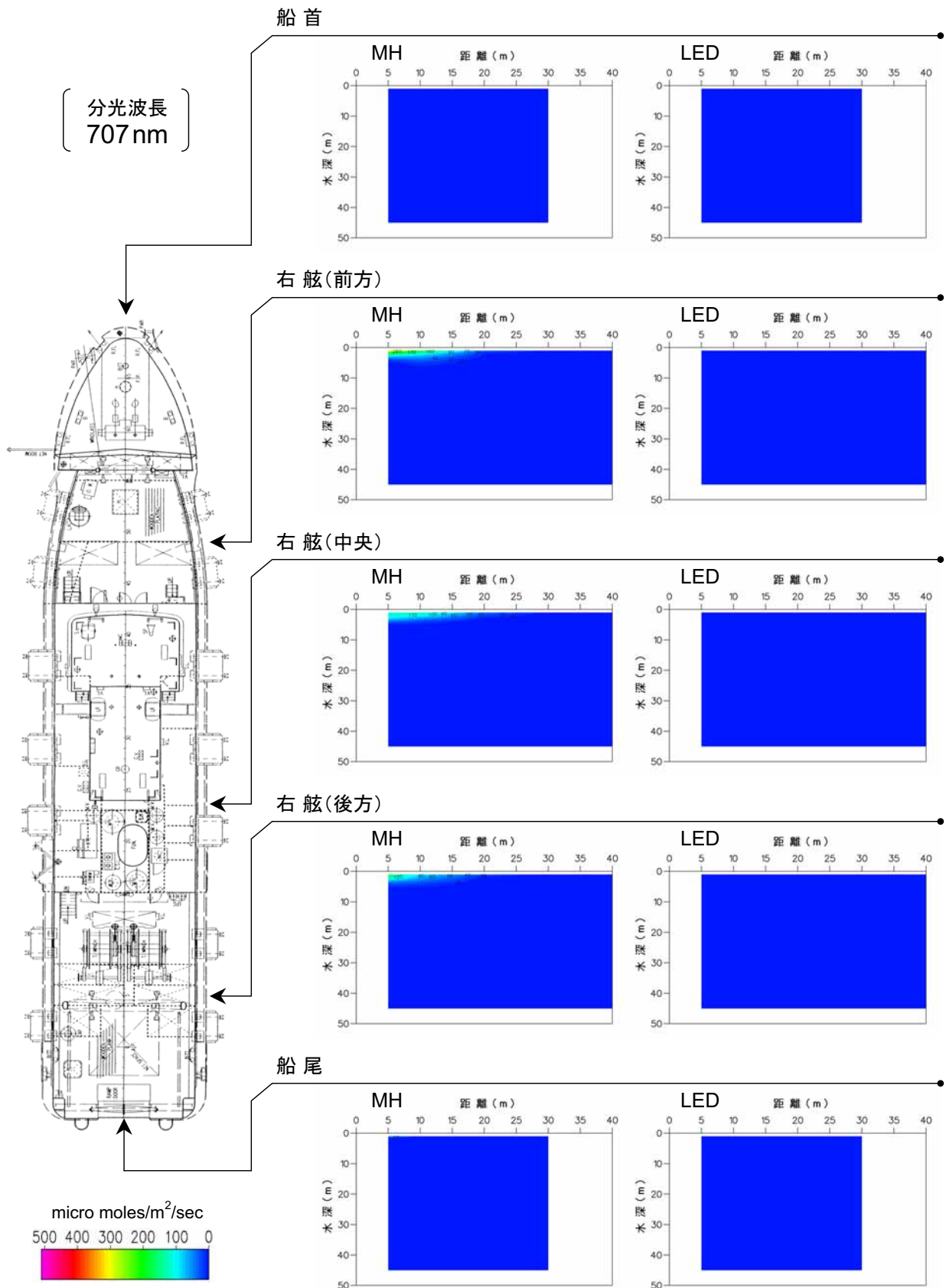


図28 MH灯およびLED灯点灯時の水中光強度の鉛直断面(分光波長:707nm)

6. ガイドローラー下の水中光強度

MH灯とLED灯を単独使用した作業中に、1号釣り機、4号釣り機、7号釣り機のガイドローラー下の水中光強度を測定した。調査船白山丸では、釣り針がブルワークの陰の先端付近(船縁より1.5～2.0m)に降りるようにMH灯とガイドローラーの位置が調整されている(図29)。このため、MH灯点灯時には、ガイドローラー直下の水中は船影になっており、比較的消散の少ない589nm以下の波長でも光強度はかなり低く、水深20～40mで測器の測定限界以下となった(図30)。

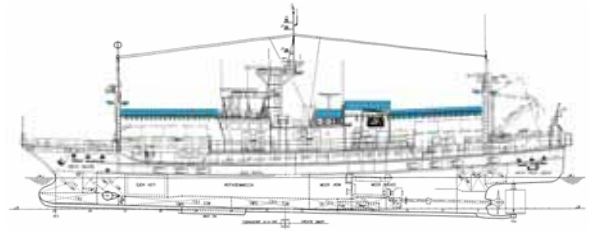
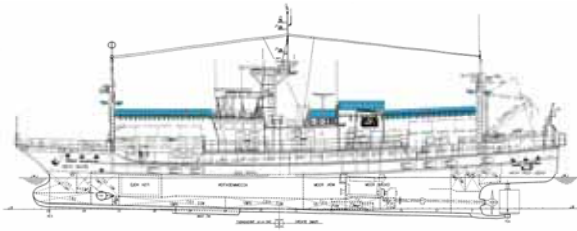


図29 MH灯(左)およびLED灯(右)点灯時の右舷側の様子

LED灯点灯時にもMH灯点灯時と概ね同じ位置にブルワークの陰が形成されていたが、水中光強度は488nmの波長でもMH灯に比べて著しく弱かった。前述の船体周囲の光強度の結果からLED灯は船縁より5～10mの海面を中心に光を照射していることが明らかである(図23)。本調査に用いたLED灯には指向角30度のLEDが用いられているが、中心の光強度を100%とした場合、光強度は10度で約90%、20度で約30%、30度で約10%に低下する(図2)。従って、LED灯点灯時にガイドローラー下の光強度が顕著に低かったのは、光の中心軸からずれていたことが原因である。

7. 生物測定結果

MH灯とLED灯を単独使用した作業で漁獲した200尾の外套背長を測定した結果(表1)、各作業毎の外套背長の平均値は23.2～25.0cmの範囲にあり、集魚灯による魚体サイズの違いは認められなかった。また、凍結保存した30尾の性別と成熟状態を調べたところ、性比、成熟率ともに集魚灯による違いはなかった。従って、MH灯とLED灯で漁獲したスルメイカには生物学的な違いはないと判断できる。



MH

LED

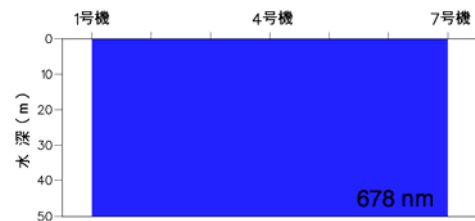
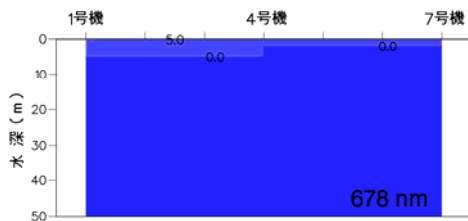
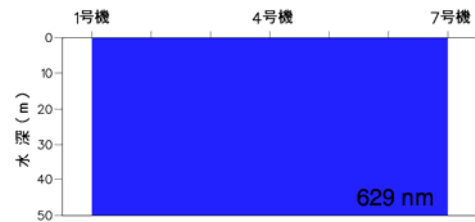
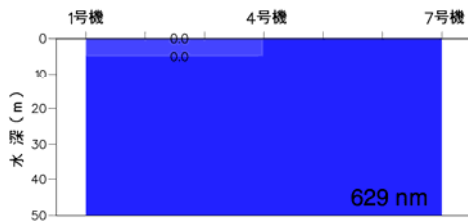
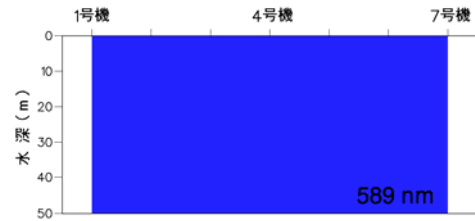
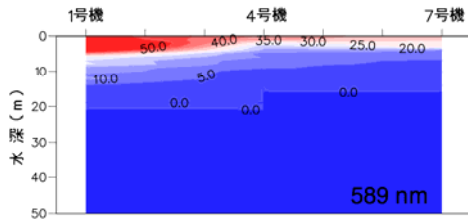
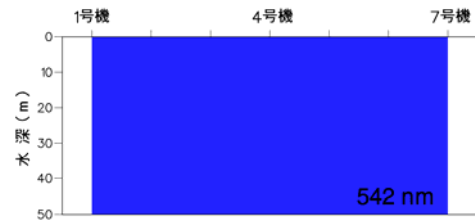
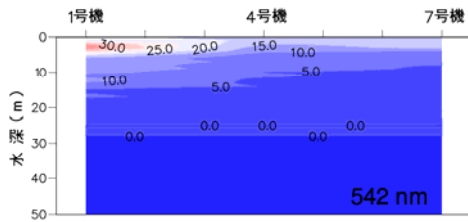
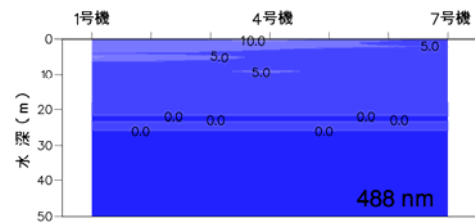
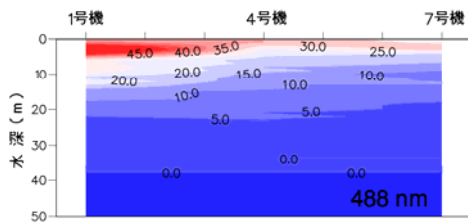
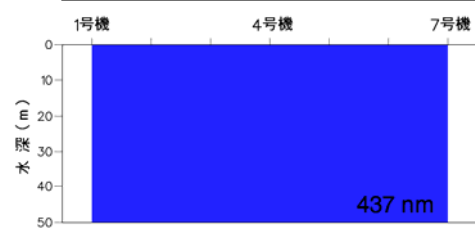
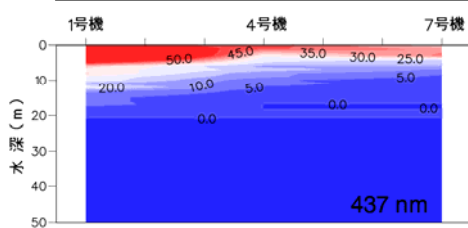


図30 MH灯およびLED灯点灯時のガイドローラー下の水中光強度 (単位: micro moles/m²/sec)

表1 各操業時に漁獲したスルメイカの生物測定結果

操業 集魚灯	No.1		No.2		No.3		No.4		No.5		全体	
	第1次 LED	第2次 MH	第4次 LED	第3次 MH	第5次 LED	第6次 MH	第7次 LED	第10次 MH	第9次 LED	第8次 MH	LED	MH
外套背長												
測定尾数	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	1000	1000
平均値(cm)	23.2	24.1	24.0	23.8	24.0	25.0	24.5	24.4	24.8	24.3	24.1	24.3
標準偏差	2.39	1.93	2.30	2.09	1.63	1.89	1.54	1.65	1.58	1.72	2.00	1.90
最大値(cm)	30.8	31.3	30.0	29.7	29.4	30.7	30.5	29.0	28.7	30.1	30.8	31.3
最小値(cm)	18.0	18.3	18.2	16.2	20.5	20.1	21.5	20.4	19.9	20.2	18.0	16.2
性別成熟												
雄尾数	13	16	13	18	16	15	13	13	14	16	27	34
雌尾数	17	14	17	12	14	15	17	17	16	14	33	26
雄成熟率(%)	46	44	31	61	63	60	85	8	71	50	59	46
雌成熟率(%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

8. 漁船の動向

調査期間中、石川県の中型いか釣り漁船の操業状況を聞き取りにより調べた(図31)。期間前半には、多くの漁船が北緯42度以北の海域で操業しており、大和堆付近で操業する漁船は4~6隻であった。その後、大和堆で操業する漁船が徐々に増加し、最終日には全ての漁船が白山丸の調査実施海域の近くで操業するようになった。

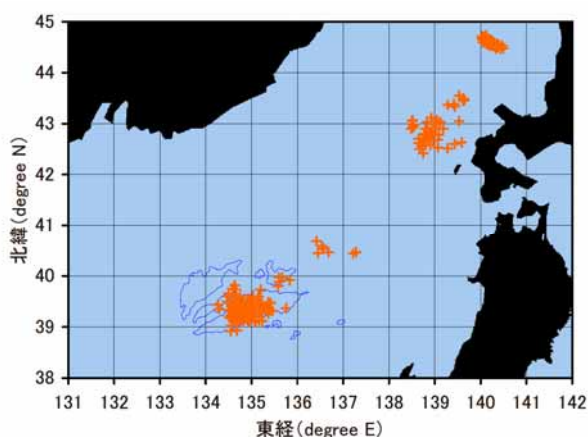


図31 試験期間中の中型いか釣り漁船の操業位置

9. その他

船体の安定性に及ぼすLED灯設置の影響については、事前の復元性計算で問題なかったことは勿論、航行中および操業中とも全く影響は感じられなかった。本調査では、LED灯の破損や電氣的トラブルは発生しなかった。

調査期間中、LED灯の点灯にともない22MHzの気象用FAXに受信障害が発生し、LED灯の設備から23.5MHzを中心とするノイズが発生していることが確認された。

10. まとめ

本調査の主な結果は以下のとおりである。

- (1) LED灯の漁獲効率は、MH灯の41%であった。
- (2) LED灯使用時の燃油消費量は、MH灯使用時の27%であった。
- (3) MH灯に比べてLED灯では、スルメイカの分布水深帯が幅広く形成される可能性がある。
- (4) 本調査の集魚灯設備では、LED灯点灯時の水中光強度はMH灯点灯時よりも弱かった。
- (5) LED灯とMH灯をそれぞれ点灯した時の水中光の分布パターンに違いが認められた。
- (6) 集魚灯による漁獲物サイズや性別の違いは認められなかった。
- (7) 船体安定性に及ぼすLED灯設置の影響はなかった。
- (8) LED灯設備から23.5MHzを中心とする電磁ノイズの発生が確認された。

本年度は、調査船の運行計画に、十分な操業回数が確保できなかった。このため、本調査結果だけで、LED灯の集魚灯としての性能を評価することはできない。

LED灯パネルの設置枚数は、社団法人マリノフォーラム21によるLED灯の総合効率を根拠として決定したが、本調査に用いた集魚灯設備では、LED灯点灯時の水中光強度はMH灯点灯時よりも低いことが実測された。従って、総合効率について再検討が必要と考えられる。この点については第4章でさらに検討を加える。

第4章 スルメイカの棲息場所の光環境と視感度特性に基づくLED集魚灯の有効光の評価

1. 評価の方法

これまでの青色LED灯に関する報告では¹⁾、集魚灯の単位消費電力あたりの発光効率、海中への光の入射効率および青色光含有率をそれぞれ乗じて、MH灯に対するLED灯の総合効率が求められている。この青色光含有率とは、スルメイカに対して有効な波長域の光の含有率を意味し、有効波長域を460～500nmとしてその値が計算されている。しかし、有効波長域を460～500nmとした明確な理由は示されていない。

スペクトルが全く異なるMH灯とLED灯について、スルメイカに対して有効な光の含有率を求めようとする場合、海面から入射した光がスルメイカの棲息場所に到達するまでにどのように消散・減衰するのか(棲息場所の光学的環境)、そして棲息場所に到達した光をスルメイカの目がどのように捉えるのか(視感度特性)という二つの要素を考えなければならない。

本章では最初に、スルメイカの棲息場所を明確に定義したうえで、棲息場所の太陽光環境と視感度特性から、自然条件下における本種の可視光域を数値計算により推定した。その結果、スルメイカの可視光域は400～550nmであると考えられ、有効波長域を460～500nmとした青色光含有率は総合効率を計算するうえで不適切であると考えられた。このため、MH灯とLED灯について、スルメイカの棲息場所の光学的環境と視感度特性を考慮して有効光含有率を数値計算により求めた。

2. スルメイカの棲息水深

中型いか釣り漁船は日中に魚群探知機やソナーを用いてスルメイカ魚群を探索し、魚群中に釣り針を降ろしてスルメイカを漁獲(「反応いか場」などと呼ばれる)しているが、漁業者は日本海の反応いか場では魚群は主に水深60～120mにみられると述べている。中型いか釣り漁船の夜間操業時の釣り針の垂下水深は80m前後であり、釣り針30本を1.1m間隔で連結している場合、水深50～80m付近からスルメイカを漁獲していると考えられる。これらの事実および文献⁷⁾から、日本海沖合漁場におけるスルメイカの棲息水深の中心は50～100mと考えられる。

3. いか釣り漁場の光学的水型

海面から入射した光は海中を透過しながら消散するが、波長によって消散の程度が異なる。このため、海中の光環境を議論するには、光源のスペクトルと波長毎の透過率(消散係数)を把握しておく必要がある。調査船白山丸の調査時に測定した水深別波長別の太陽光強度から波長別の透過率を求め、Jerlov⁸⁾による光学的水型の透過率曲線と比較したところ、589nmより短い波長域ではⅡ型かⅢ型に類似した透過率であった(図32)。

これまでの多くの観測値から、Jerlovの水型別に平均的な透明度が求められており、透明度はⅡ型で25m、Ⅲ型で14m、1型で10mとされている⁹⁾。石川県による1938年以降の5～12月の観測結果では、いか釣り漁業が営まれる海域の透明度は7～33mの範囲にあり(図32)、水型としてはⅡ型とⅢ型が高頻度で低頻度ながら1型の場合もあると判断された。

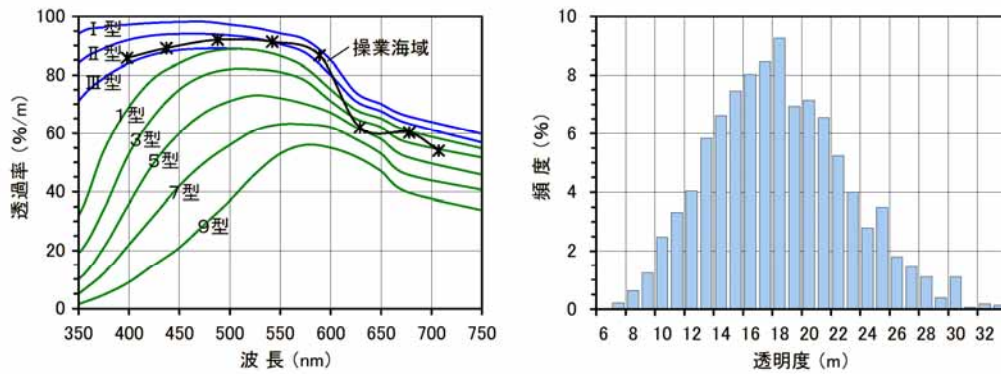


図32 水型別透過率と操業海域の透過率の比較(左)および日本海の透明度(右)

4. スルメイカの棲息場所の太陽光スペクトルと視感度特性

スルメイカの棲息場所はⅡ型、Ⅲ型および1型海域の水深50～100mである。そこで、海面付近の太陽光スペクトルと水型別波長別の消散係数から、スルメイカの棲息場所の太陽光スペクトルを次式により求めた。なお、波長別消散係数については、Jerlovの水型別透過率をスプライン補間し、これを消散係数に変換した値を用いた。

$$I_Z = I_0 e^{-KZ} \quad \left[I_Z: Z [m] \text{の光強度} \quad I_0: \text{海面の光強度} \quad K: \text{消散係数} \quad Z: \text{水深} [m] \right]$$

太陽光スペクトルが最大となる波長は、Ⅱ型で460nm前後、Ⅲ型で480nm前後、1型で500nm前後であり、スペクトルの幅は水深が深いほど狭くなる(図33)。棲息場所に到達する太陽光は海面から入射した光の一部であり、スルメイカは波長390～570nmの光環境下で棲息していると考えられる。

視物質の吸収スペクトルは視感度と一致すると考えられている。スルメイカ視物質の吸収極大波長は482nmで、吸収スペクトルは紫外域から600nm付近にまで及んでいることから(図33)、スルメイカの目は青色光に対して最も感度が高く、波長600nm以下の光を捉えることができる(資料提供・助言:清道正嗣博士)。この吸収スペクトルはⅡ型、Ⅲ型および1型海域の水深50～100mの太陽光スペクトルに近似することから、スルメイカの視感度特性は棲息場所の太陽光環境に高度に適応していると考えられる。

スルメイカの目は波長600nm以下の光を捉えることができるが、視感度域の両端付近では感度は極端に低下する。従って、棲息場所の太陽光スペクトルを視物質の吸収スペクトルで重み付けすることにより、自然環境下での可視光域を知ることができる。Ⅱ型、Ⅲ型および1型海域の水深50mの太陽光について計算した結果、スルメイカの可視光域は400～550nmであると考えられた(図34)。但し、スルメイカは視物質を一種類しか持たないので波長の違いを認識する能力はない。

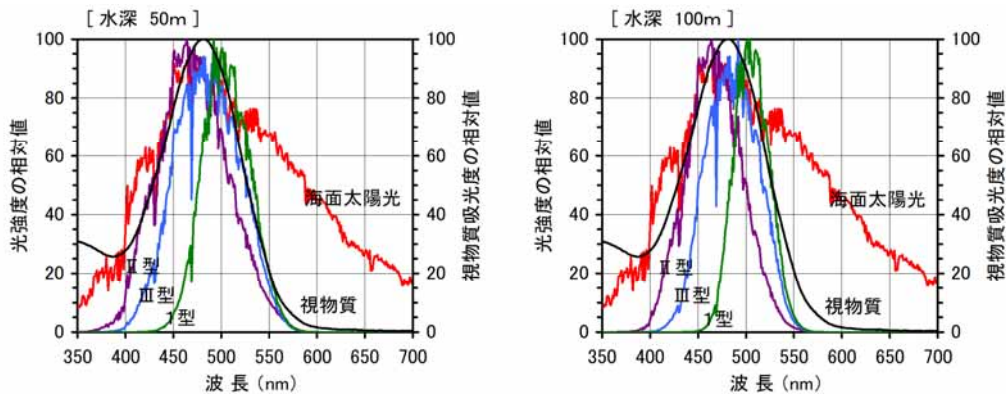


図33 海面と海中の太陽光スペクトルおよび視物質の吸収スペクトル

(各スペクトルの最大値を100とする相対値)

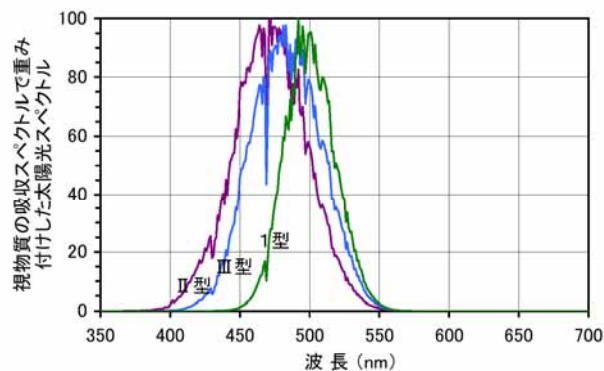


図34 視物質の吸収スペクトルで重み付けした水深50mの太陽光

(各スペクトルの最大値を100とする相対値)

5. スルメイカの棲息場所におけるMHランプと青色LEDのスペクトル

スルメイカの代表的な棲息場所はⅢ型海域で、漁獲水深は50～80m付近である。そこで、MHランプと青色LEDの光が海面から入射した場合について、Ⅲ型海域の水深75mにおけるスペクトルを数値計算により推定した(図35)。なお、海面における波長350～700nmの光強度の積分値を100%として水中スペクトルを求めた。

MHランプが放射する光の大部分は水中で消散し、水深75mでは波長430～550nmの光だけとなり、光強度の積分値は海面の僅か0.0048%となる。これに対して、青色LEDが放射する波長450～500nmの光は消散が少ないため、海面と水深75mのスペクトルの形状は類似しており、水深75mにおける光強度の積分値は海面の0.0143%となる。

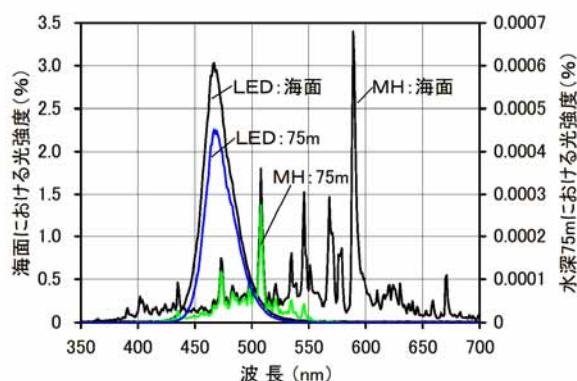


図35 Ⅲ型海域の水深75mにおけるMHランプと青色LEDのスペクトル

(波長350～700nmの海面における光強度の積分値を100とした値)

6. MHランプと青色LEDの光の透過効率

前述のようにⅢ型海域の水深75mでは、MHランプの光は海面の0.0048%に、青色LEDの光は海面の0.0143%となる。従って、MHランプの光に対する青色LEDの光の透過率比は3.0となる。スルメイカの棲息場所はⅡ型、Ⅲ型およびⅠ型海域の水深50～100mであり、この棲息条件下における透過率比を求めた(表2)。その結果、青色光の透過が良いⅡ型およびⅢ型では、青色LEDの光はMHランプの光に比べて2.7～4.0倍高い効率でスルメイカの棲息水深に到達するが、青色光が透過しにくいⅠ型では、1.3～1.6倍程度であることが分かった。

表2 MHランプに対する青色LEDの光の透過率比と有効光含有率比

水深	透過率比			有効光含有率比		
	Ⅱ型	Ⅲ型	Ⅰ型	Ⅱ型	Ⅲ型	Ⅰ型
50 m	3.1	2.7	1.6	3.9	3.4	2.1
75 m	3.6	3.0	1.4	4.3	3.5	1.8
100 m	4.0	3.1	1.3	4.6	3.6	1.5

棲息場所の光スペクトルを視物質の吸収スペクトルで重み付けし、その値を積分することで、スルメイカに対して有効な光の含有率を求めることができる。この有効光含有率をMHランプと青色LEDの光について求め、MHランプに対する青色LEDの有効光含有率比を計算したところ、有効光含有率比はⅡ型とⅢ型では3.4～4.6、Ⅰ型では1.5～2.1となった。

これまでの青色LED灯に関する報告では、スルメイカに対しては青色光が有効であり、青色LEDには青色光がMHランプの10倍含まれるとして、LED灯の総合効率が計算されている。今回、スルメイカの棲息場所を明確に定義し、棲息場所の光環境と視感度特性を考慮したうえで、MHランプに対する青色LEDの有効光含有率比を試算したところ、いか釣り漁業が主に営まれているⅡ型およびⅢ型海域の水深50～100mの条件下では、有効光含有率比は3.4～4.6となった。この有効光含有率比は従来の青色光含有率比に置き換えることができるので、これまで32倍とされていたLED灯の総合効率については、11～15倍に修正するのが適切であると考えられる。

本調査では、MH灯に対するLED灯の総合効率を32倍として、LED灯パネルの設置枚数を決定したが、LED灯点灯時の水中光強度はMH灯点灯時の34%であった。この実測結果は、LED灯の総合効率はMH灯の11～15倍とする本試算結果を支持している。

7. LED集魚灯のスペクトルの最適化

青色LED灯は青色光のみ放射するため水型による透過率の変化が著しく、透明度の低い沿岸水型の海域では透過率が大きく低下して(表2)、集魚灯としての能力も低下する可能性がある。沿岸水型の海域でも能力を維持するには、LED灯の発光波長を長波長側に拡大する必要がある。

スルメイカの視感度特性は棲息場所の太陽光環境に適応していることから、スルメイカの可視光範囲内で太陽光スペクトルに近似した光源が集魚灯として効果的である可能性が考えられる。LEDの特徴は特定の波長範囲で発光することであり、発光波長が異なるLEDを組み合わせることで太陽光スペクトルに近似した光を得ることができる(図36)。

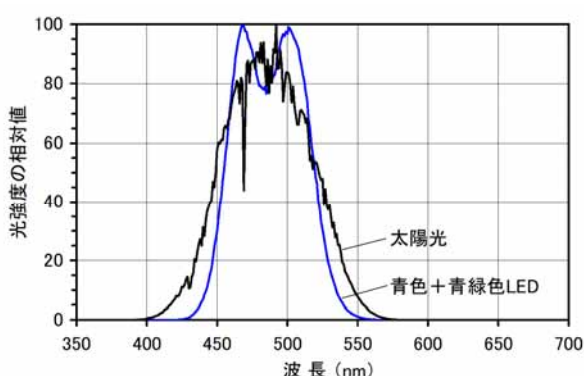


図36 Ⅲ型海域の水深75mにおける太陽光と青+青緑色LEDのスペクトル

青色LED (NICHIA: NSPB510S)と青緑色LED (NICHIA: NSPE510S)を組み合わせた場合について、Ⅲ型海域の水深75mにおけるスペクトルが太陽光と近似する組み合わせを求めると(残差平方和が最小になる値をMS Excelのソルバーで計算), 最大発光波長における光強度は 青色LED:青緑LED=1:0.94 となった。LED灯の性能を高めるには、スルメイカの棲息場所の光環境と視感度特性を考慮したうえで、スペクトルを最適化する方法も考えられる。

第5章 今後の検討課題と調査計画

1. LED集魚灯パネルの角度調整

本年度の調査では、MH灯とLED灯をそれぞれ点灯した時の水中光の分布パターンに違いが認められた。点光源であるMH灯は海面を広く照らしており、水中における光の拡散範囲も広い。本年度はLEDパネルの取付角度を60度のみとしたが、多少遠方を照らすためのパネルも必要であると考えられる。このため今後は、取付角度を60度としたものと70～80度にしたものを交互に配置して試験するのが適当と考えられる。

2. LED集魚灯とMH集魚灯の併用

前章で述べたように、MH灯に対するLED灯の総合効率は、従来考えられていた値の1/2～1/3程度と考えられる。今年度は従来の総合効率に基づき、LED灯パネルを102枚設置したが、設置場所の関係からパネル枚数を現在の2～3倍に増やすことは不可能である。

LED灯の漁獲効率がMH灯のそれよりも低い原因としては、LED灯の光力が不足していたこと加えて、LED灯点灯時の水中光の分布パターンやスペクトルの問題も考えられる。これらの問題を改善する手段としては、LED灯とMH灯の併用が考えられる。つまり、MH灯は点光源で白色光を放射するため、MH灯を併用することで、水中における光の拡散範囲が拡大するとともに青色よりも長波長の緑色光も付加される。

LED灯を単独使用するよりもMH灯と併用したほうが漁獲成績は良いという結果は既に複数報告されているが、これらの調査では水中光の分布パターンやスペクトルが測定されていないので、併用が有効であることの科学的根拠が明らかでない。以上のような観点から、今後の調査では、LED灯とMH灯の併用試験を実施して漁獲成績を調べるとともに、波長帯別の水中光の強度や分布パターンを測定して併用効果を科学的に検証する必要がある。

3. 操業時におけるスルメイカの分布水深

魚探画像からMH灯点灯時に比べてLED灯点灯時には、スルメイカの分布水深帯が幅広く形成される可能性が示唆された。両灯でスルメイカの分布水深帯に違いが生じているのであれば、釣り機の巻下げ水深等を調整することも考えなければならないので、操業中のスルメイカの分布水深については、さらにデータを蓄積する必要がある。

引用文献

- (1) 社団法人マリノフォーラム21 海域総合開発研究会 青色発光ダイオード集魚灯によるイカ釣り漁業革命事業グループ：平成16年度青色発光ダイオード集魚灯によるイカ釣り漁業革命事業に関する報告書，社団法人マリノフォーラム21，2005，p.1-37.
- (2) 清道正嗣，鬼頭勇次：ホタルイカの眼，ホタルイカの素顔(奥谷喬司編著)，東海大学出版会，2000，p.85-134.
- (3) 崔漸珍，中村善彦，有元貴文：集魚灯による小型イカ釣り漁船周辺の海面照度分布，平成8年度小型いかつり光力適正化検討事業 実態調査・実証調査報告書 総集編，全国漁業協同組合連合会，1996，p.138-152.
- (4) 日亜化学工業株式会社：LED標準仕様書 青色LED NSPB510S，p.1-13.
- (5) 青森県水産総合研究センター：青色発光ダイオード集魚灯試験，日本海漁業操業効率化支援事業・漁場形成状況等調査事業 平成17年度第3回調査計画検討委員会資料，2006.
- (6) 株式会社東和電気製作所，東京海洋大学稲田研究室：いか釣り用LED集魚灯の試験経過，平成17年度第2回発光ダイオード普及協議会資料，2006.
- (7) 新谷久男：日本のイカ漁業と資源IV. スルメイカの漁場と環境，水産「技術と経営」，1987，通刊269号，p.43-53.
- (8) 岡見登，岸野元彰：海中光の測定，海洋学講座14 海洋測定法(黒木敏郎編)，東京大学出版会，1972，p.107-136.
- (9) 日本本海洋学会：光，懸濁物質，海洋環境調査法(日本海洋学会編)，恒星社厚生閣，1985，p.114-146.

付表1 試験操業・生物測定・海洋観測結果(1)

試験操業結果	操業	点灯試験				第01次操業				第02次操業		第03次操業									
	集魚灯の種類	LED灯				LED灯				MH灯		MH灯									
	操業開始位置 N	38	30.9			39	45.8			39	34.7	39	55.5								
	E	136	30.0			135	39.6			135	25.3	135	0.9								
	操業終了位置 N	38	33.2			39	54.6			39	33.6	39	53.3								
	E	136	32.2			135	43.2			135	26.2	135	2.2								
	操業開始時刻	11/12 20:30				11/13 17:00				11/14 17:00		11/15 17:00									
	操業終了時刻	11/12 23:15				11/14 06:00				11/15 06:00		11/16 06:00									
	操業時間 (t)	2.75				12.75				12.75		12.75									
	釣機台数 (n)	14				14				14		14									
	漁獲努力 (t・n)	38.5				178.5				178.5		178.5									
	釣獲尾数 (尾)	2				580				687		1681									
	CPUE	0.05				3.25				3.85		9.42									
	補機運転台数	1				1				2		2									
補機燃料消費 (L)	77				293				950		953										
生物測定結果	外套背長組成	12 cm																			
		13 cm	1	50%																	
		14 cm	1	50%																	
		15 cm																			
		16 cm																			
		17 cm																		2	1%
		18 cm																			
		19 cm																			
		20 cm																			
		21 cm																			
		22 cm																			
		23 cm																			
		24 cm																			
		25 cm																			
		26 cm																			
		27 cm																			
		28 cm																			
	29 cm																				
	30 cm																				
31 cm																					
32 cm																					
合計	2	100%																			
平均体重 (g)		55.8																			
雌雄比 (%)		—																			
雄成熟率 (%)		—																			
雌成熟率 (%)		—																			
海洋観測結果	海洋観測位置 N	38	30.8	39	0.0	39	30.0	39	44.9	39	59.8	39	34.5	39	56.2						
	E	136	29.9	135	0.0	136	0.0	135	40.0	135	0.0	135	25.2	135	0.9						
	観測日時	11/12 20:10		11/13 08:25		11/13 14:10		11/13 16:20		11/14 11:20		11/14 16:00		11/15 16:00							
	天気	BC		O		O		C		C		C		C							
	雲量・雲形	—		9 As		10 Sc		10 Sc		9 Ac		9 Sc		9 Sc							
	風向・風速 (m/s)	NW 2.2		NNW 9.3		NW 7.7		NNW 5.9		NW 8.6		NW 5.9		NNW 9.7							
	気温 (°C)	11.0		12.5		10.8		8.5		5.7		7.0		4.2							
	気圧 (hpa)	1024.6		1022.2		1021.0		1022.2		1021.5		1020.5		1019.0							
	波・うねり	1	2	3	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3						
	透明度 (m)	—		13		13		12		12		13		11							
	水温・塩分%	0 m	18.8	33.65	16.0	33.71	16.8	33.68	15.8	33.66	11.4	33.85	12.3	33.83	11.5	33.89					
		10 m	18.92	33.66	16.11	33.71	16.68	33.68	16.10	33.69	11.53	33.85	12.34	33.83	11.53	33.88					
		20 m	18.92	33.66	15.93	33.71	16.68	33.68	16.04	33.70	11.21	33.82	12.32	33.83	11.48	33.89					
		30 m	18.92	33.67	15.38	33.73	16.67	33.68	15.00	33.86	7.29	33.96	12.32	33.82	11.46	33.89					
		50 m	17.80	33.66	14.30	33.88	16.51	34.26	13.66	33.87	4.17	34.03	7.37	33.99	5.91	34.08					
		75 m	16.48	34.04	11.42	34.32	12.10	34.45	4.96	34.03	3.15	34.00	3.85	33.99	4.14	34.03					
		100 m	14.61	34.44	6.63	34.14	7.59	34.20	2.90	34.02	2.44	34.01	3.20	33.99	2.75	34.01					
		150 m	8.15	34.20	2.77	34.00	3.46	34.04	1.61	34.02	1.70	34.02	1.55	33.98	1.56	34.02					
	200 m	3.23	34.03	1.77	34.00	1.74	34.03	1.18	34.03	1.26	34.03	1.16	34.01	1.11	34.02						
300 m	0.84	34.04	0.92	34.03	—	—	0.78	34.03	0.85	34.05	0.79	34.02	0.82	34.06							
備考	LED点灯試験	観測補間点				観測補間点				月齢 11.1		観測補間点		月齢 12.1		月齢 13.1					
	月齢 10.1																				

付表1 試験操業・生物測定・海洋観測結果(2)

試験操業結果	操業	第04次操業		第05次操業		第06次操業		第07次操業		第08次操業		第09次操業		第10次操業		
	集魚灯の種別	LED灯		LED灯		MH灯		LED灯		MH灯		LED灯		MH灯		
	操業開始位置 N	39	48.7	39	3.4	39	1.4	39	14.7	39	15.4	39	14.2	39	10.9	
	E	135	2.2	134	49.7	134	49.6	134	33.6	134	22.5	134	23.0	134	38.5	
	操業終了位置 N	39	45.1	39	2.4	38	58.7	39	18.5	39	17.1	39	14.9	39	14.8	
	E	135	6.7	134	48.7	134	48.9	134	28.9	134	23.5	134	23.4	134	37.8	
	操業開始時刻	11/16 17:00		11/17 17:00		11/18 17:00		11/19 17:00		11/20 17:00		11/21 17:00		11/22 17:00		
	操業終了時刻	11/17 06:00		11/18 06:00		11/19 06:00		11/20 06:00		11/21 06:00		11/22 06:00		11/23 06:00		
	操業時間 (t)	12.75		12.75		12.75		12.75		12.75		12.75		12.75		
	釣機台数 (n)	14		14		12.12		14		14		14		14		
	漁獲努力 (t・n)	178.5		178.5		154.5		178.5		178.5		178.5		178.5		
	釣獲尾数 (尾)	354		1029		1359		2793		7146		1133		3360		
	CPUE	1.98		5.76		8.80		15.65		40.03		6.35		18.82		
	補機運転台数	1		1		2		1		2		1		2		
	補機燃料消費 (L)	280		250		1000		261		998		245		1028		
生物測定結果	外套背長組成	12 cm														
		13 cm														
		14 cm														
		15 cm														
		16 cm														
		17 cm														
		18 cm	2	1%												
		19 cm	4	2%									1	1%		
		20 cm	18	9%	3	2%	2	1%			5	3%	3	2%	5	3%
		21 cm	15	8%	16	8%	10	5%	7	4%	9	5%	6	3%	10	5%
		22 cm	18	9%	39	20%	18	9%	24	12%	32	16%	13	7%	21	11%
		23 cm	47	24%	54	27%	34	17%	52	26%	41	21%	34	17%	50	25%
		24 cm	38	19%	40	20%	40	20%	51	26%	56	28%	59	30%	50	25%
		25 cm	26	13%	25	13%	40	20%	29	15%	31	16%	42	21%	27	14%
		26 cm	12	6%	15	8%	33	17%	23	12%	13	7%	23	12%	23	12%
		27 cm	9	5%	5	3%	12	6%	8	4%	6	3%	16	8%	10	5%
		28 cm	5	3%	2	1%	7	4%	5	3%	4	2%	3	2%	4	2%
		29 cm	6	3%	1	1%	1	1%			2	1%				
		30 cm					3	2%	1	1%	1	1%				
	31 cm															
32 cm																
合計	200	100%	200	100%	200	100%	200	100%	200	100%	200	100%	200	100%		
平均体重 (g)	294.6		296.4		334.5		317.0		306.4		326.7		311.8			
雌雄比 (%)	♂43:♀57		♂53:♀47		♂50:♀50		♂43:♀57		♂52:♀48		♂47:♀53		♂43:♀62			
雄成熟率 (%)	31		63		60		85		50		71		8			
雌成熟率 (%)	0		0		0		0		0		0		0			
海洋観測結果	海洋観測位置 N	39	48.6	39	3.4	39	1.6	39	14.5	39	15.1	39	14.3	39	10.7	
	E	135	2.2	134	49.7	134	49.4	134	34.2	134	22.3	134	22.7	134	39.0	
	観測日時	11/16 16:00		11/17 16:00		11/18 16:00		11/19 16:00		11/20 16:00		11/21 16:00		11/22 16:00		
	天気	C		BC		C		C		B		C		BC		
	雲量・雲形	8	Sc	4	Cu	8	Cu	9	Cu	1	Cs	10	Sc	3	Ac	
	風向・風速 (m/s)	NW	9.2	NW	8.5	NW	12.1	NW	10.9	SSW	3.0	NNW	7.1	NNE	6.0	
	気温 (°C)	4.0		8.0		5.0		4.2		6.9		9.2		5.5		
	気圧 (hpa)	1023.0		1023.9		1026.3		1028.5		1027.0		1019.8		1024.7		
	波・うねり	4	3	3	3	5	4	4	3	1	3	3	4	2	3	
	透明度 (m)	13		11		10		11		10		12		11		
	水温・塩分	0 m	12.3	33.83	14.4	33.86	14.0	33.81	12.8	33.87	13.3	33.84	12.9	33.86	12.3	33.90
		10 m	12.35	33.83	14.37	33.85	13.99	33.80	12.77	33.85	13.25	33.83	12.72	33.85	12.19	33.88
		20 m	12.35	33.85	14.36	33.85	13.98	33.81	12.76	33.87	13.14	33.83	12.72	33.85	12.18	33.89
		30 m	12.35	33.84	14.40	34.03	13.76	33.81	12.77	33.86	12.87	33.84	12.68	33.85	12.18	33.88
		50 m	7.88	33.91	11.11	33.95	12.14	34.01	12.59	33.88	11.79	33.93	9.55	33.94	11.30	33.92
		75 m	3.17	33.98	7.33	34.17	7.97	34.20	6.09	34.02	4.44	34.02	3.67	34.02	6.68	34.16
		100 m	2.22	33.96	5.08	34.07	6.18	34.09	3.16	33.98	2.41	34.03	2.24	34.00	4.67	34.06
		150 m	1.44	34.01	2.49	34.03	2.92	34.01	1.95	34.03	1.39	34.01	1.46	34.01	2.42	34.03
		200 m	1.05	34.03	1.51	34.00	1.61	34.02	1.41	34.04	1.10	34.03	1.07	34.01	1.52	34.03
300 m	0.82	34.04	0.85	34.05	0.97	34.05	0.78	34.05	0.75	34.04	0.79	34.02	0.72	34.05		
備考	月齢 14.1		月齢 15.1		月齢 16.1		月齢 17.1		月齢 18.1		月齢 19.1		月齢 20.1			

付表2 機関燃油消費量調査結果

	主機関				捕機関				捕機関(操業時)※1				捕機関(非操業時)※1			
	消費量 (L)	運転時間 (H)	消費速度 (L/H)	消費量 (L)	運転時間 (H)	消費速度 (L/H)	消費量 (L)	運転時間 (H)	消費速度 (L/H)	消費量 (L)	運転時間 (H)	消費速度 (L/H)	消費量 (L)	運転時間 (H)	消費速度 (L/H)	
H17/11/12	午前	248	2.42	102.62	45	3.17	14.21	—	—	—	—	45	3.17	14.21		
	午後	1015	8.33	121.80	228	12.00	19.00	22.00	22.00	8.50	17.76	151	8.50	17.76		
H17/11/13	午前	1479	12.00	123.25	177	12.00	14.75	—	—	—	—	177	12.00	14.75		
	午後	590	5.00	118.00	248	12.00	20.67	23.57	23.57	5.00	16.60	83	5.00	16.60		
H17/11/14	午前	482	4.33	111.23	238	12.00	19.83	21.33	21.33	6.00	18.33	110	6.00	18.33		
	午後	346	2.83	122.12	598	12.00	49.83	72.86	72.86	5.00	17.60	88	5.00	17.60		
H17/11/15	午前	175	1.92	91.30	562	12.00	46.83	73.33	73.33	6.00	20.33	122	6.00	20.33		
	午後	433	3.58	120.84	611	12.00	50.92	73.00	73.00	5.00	20.00	100	5.00	20.00		
H17/11/16	午前	—	—	—	598	12.00	49.83	73.67	73.67	6.00	26.00	156	6.00	26.00		
	午後	—	—	—	225	12.00	18.75	20.86	20.86	7.00	15.80	79	7.00	15.80		
H17/11/17	午前	472	4.33	108.92	252	12.00	21.00	22.33	22.33	6.00	19.67	118	6.00	19.67		
	午後	58	0.67	87.00	214	12.00	17.83	19.29	19.29	5.00	15.80	79	5.00	15.80		
H17/11/18	午前	—	—	—	214	12.00	17.83	19.17	19.17	6.00	16.50	99	6.00	16.50		
	午後	—	—	—	631	12.00	52.58	77.00	77.00	5.00	18.40	92	5.00	18.40		
H17/11/19	午前	—	—	—	627	12.00	52.25	76.83	76.83	6.00	27.67	166	6.00	27.67		
	午後	347	4.25	81.65	224	12.00	18.67	18.57	18.57	5.00	18.80	94	5.00	18.80		
H17/11/20	午前	—	—	—	247	12.00	20.58	21.83	21.83	6.00	19.33	116	6.00	19.33		
	午後	455	4.00	113.75	631	12.00	52.58	75.14	75.14	5.00	21.00	105	5.00	21.00		
H17/11/21	午前	—	—	—	621	12.00	51.75	78.67	78.67	6.00	24.83	149	6.00	24.83		
	午後	88	1.08	81.23	240	12.00	20.00	20.71	20.71	5.00	19.00	95	5.00	19.00		
H17/11/22	午前	462	4.33	106.62	214	12.00	17.83	16.67	16.67	6.00	19.00	114	6.00	19.00		
	午後	305	2.67	114.38	626	12.00	52.17	75.00	75.00	5.00	20.20	101	5.00	20.20		
H17/11/23	午前	469	4.42	106.19	648	12.00	54.00	82.17	82.17	6.00	25.83	155	6.00	25.83		
	午後	103	0.83	123.60	632	12.00	52.67	75.57	75.57	5.00	20.60	103	5.00	20.60		
H17/11/24	午前	708	6.25	113.28	301	12.00	25.08	31.67	31.67	6.00	18.50	111	6.00	18.50		
	午後	893	6.83	130.68	182	12.00	15.17	—	—	—	15.17	182	12.00	15.17		
H17/11/25	午前	105	1.17	90.00	115	9.25	12.43	—	—	—	12.43	115	9.25	12.43		
	午後	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
LED灯操業時の合計(※2)																
MH灯操業時の合計(※2)																
非操業時の合計(※2)																
総計	9233	81.25	113.64	10149	312.42	32.49	7044	146.50	48.08	2221	110	165.92	3105	165.92	18.71	

※1: 非操業時およびLED灯操業時には補機1機、MH灯操業時には補機2機を運転

※2: 11月13日午後から11月23日午前までの集計結果

付表3 試験操作時間帯別結果(1)

時間帯		17~18	18~19	19~20	20~21	21~22	22~23	23~24	24~01	01~02	02~03	03~04	04~05	05~06	総合
点灯試験	釣獲尾数				0	0	2	0							2
LED灯	努力量				7.0	14.0	14.0	3.5							38.5
11/13 17:00 操業開始	CPU				0.0	0.0	0.1	0.0							0.05
11/14 06:00 操業終了	補機燃油消費(L)				12	24	22	19							77
	補機運転台数				1	1	1	1							1.0
第01次操業	釣獲尾数	33	41	67	78	24	36	35	42	51	26	29	49	69	580
LED灯	努力量	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	10.5	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	178.5
11/13 17:00 操業開始	CPU	2.4	2.9	4.8	5.6	1.7	2.6	3.3	3.0	3.6	1.9	2.1	3.5	4.9	3.25
11/14 06:00 操業終了	補機燃油消費(L)	23	24	23	25	23	24	23	24	21	20	20	20	23	293
	補機運転台数	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0
第02次操業	釣獲尾数	47	69	101	47	69	56	38	40	49	68	45	23	35	687
MH灯	努力量	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	10.5	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	178.5
11/14 17:00 操業開始	CPU	3.4	4.9	7.2	3.4	4.9	4.0	3.6	2.9	3.5	4.9	3.2	1.6	2.5	3.85
11/15 06:00 操業終了	補機燃油消費(L)	71	73	74	74	73	71	74	71	71	72	72	77	77	950
	補機運転台数	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2.0
第03次操業	釣獲尾数	30	56	83	38	107	90	97	216	275	95	120	288	186	1681
MH灯	努力量	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	10.5	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	178.5
11/15 17:00 操業開始	CPU	2.1	4.0	5.9	2.7	7.6	6.4	9.2	15.4	19.6	6.8	8.6	20.6	13.3	9.42
11/16 06:00 操業終了	補機燃油消費(L)	74	73	74	74	72	72	72	71	70	74	73	77	77	953
	補機運転台数	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2.0
第04次操業	釣獲尾数	9	28	8	27	19	18	15	25	40	21	69	26	49	354
LED灯	努力量	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	10.5	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	178.5
11/16 17:00 操業開始	CPU	0.6	2.0	0.6	1.9	1.4	1.3	1.4	1.8	2.9	1.5	4.9	1.9	3.5	1.98
11/17 06:00 操業終了	補機燃油消費(L)	22	21	22	21	20	20	20	21	20	19	25	24	25	280
	補機運転台数	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0
第05次操業	釣獲尾数	39	58	57	88	39	44	65	37	112	38	86	249	117	1029
LED灯	努力量	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	10.5	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	178.5
11/17 17:00 操業開始	CPU	2.8	4.1	4.1	6.3	2.8	3.1	6.2	2.6	8.0	2.7	6.1	17.8	8.4	5.76
11/18 06:00 操業終了	補機燃油消費(L)	20	20	20	19	19	18	19	19	18	18	21	17	22	250
	補機運転台数	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0

付表3 試験操作時間帯別結果(2)

時間帯		17~18	18~19	19~20	20~21	21~22	22~23	23~24	24~01	01~02	02~03	03~04	04~05	05~06	総計
第06次操業	釣獲尾数	20	19	64	106	171	130	131	132	126	111	110	152	87	1359
MH灯	努力量	8.0	8.0	8.0	8.0	14.0	14.0	10.5	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	154.5
11/18 17:00 操業開始	CPU	2.5	2.4	8.0	13.3	12.2	9.3	12.5	9.4	9.0	7.9	7.9	10.9	6.2	8.80
11/19 06:00 操業終了	補機燃油消費(L)	78	77	76	77	77	77	77	77	77	74	72	81	80	1000
	補機運転台数	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2.0
第07次操業	釣獲尾数	152	190	361	318	157	138	146	330	305	319	91	87	199	2793
LED灯	努力量	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	10.5	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	178.5
11/19 17:00 操業開始	CPU	10.9	13.6	25.8	22.7	11.2	9.9	13.9	23.6	21.8	22.8	6.5	6.2	14.2	15.65
11/20 06:00 操業終了	補機燃油消費(L)	19	20	18	19	18	17	19	21	22	20	23	23	22	261
	補機運転台数	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0
第08次操業	釣獲尾数	292	719	618	400	566	794	511	697	1329	442	343	223	212	7146
MH灯	努力量	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	10.5	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	178.5
11/20 17:00 操業開始	CPU	20.9	51.4	44.1	28.6	40.4	56.7	48.7	49.8	94.9	31.6	24.5	15.9	15.1	40.03
11/21 06:00 操業終了	補機燃油消費(L)	70	73	76	76	76	78	77	78	77	76	82	80	79	998
	補機運転台数	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2.0
第09次操業	釣獲尾数	30	23	65	57	38	81	57	122	164	113	95	179	109	1133
LED灯	努力量	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	10.5	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	178.5
11/21 17:00 操業開始	CPU	2.1	1.6	4.6	4.1	2.7	5.8	5.4	8.7	11.7	8.1	6.8	12.8	7.8	6.35
11/22 06:00 操業終了	補機燃油消費(L)	22	21	21	22	19	19	21	18	17	15	16	15	19	245
	補機運転台数	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0
第10次操業	釣獲尾数	99	108	151	173	293	545	334	322	298	283	289	158	307	3360
MH灯	努力量	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	10.5	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	178.5
11/22 17:00 操業開始	CPU	7.1	7.7	10.8	12.4	20.9	38.9	31.8	23.0	21.3	20.2	20.6	11.3	21.9	18.82
11/23 06:00 操業終了	補機燃油消費(L)	74	76	74	82	67	75	77	82	76	83	79	91	92	1028
	補機運転台数	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2.0
第11次操業	釣獲尾数	102	282	163	177	133	143	157	133	521	553	309	315	291	3279
MH灯→LED灯	努力量	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	10.5	14.0	10.5	14.0	14.0	14.0	14.0	175.0
11/23 17:00 操業開始	CPU	7.3	20.1	11.6	12.6	9.5	10.2	15.0	9.5	49.6	39.5	22.1	22.5	20.8	18.74
11/24 06:00 操業終了	補機燃油消費(L)	79	78	75	72	75	76	74	77	22	21	22	24	24	719
	補機運転台数	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1.6



石川県水産総合センター

〒927-0435 石川県鳳珠郡能登町宇出津新港3丁目7番地

TEL 0768-62-1324 FAX 0768-62-4324

<http://www.pref.ishikawa.jp/suisan/center/>