

実証試験報告書

I. 課題名

遠洋まぐろ延縄漁船の冷却装置にインバーターや新制御技術の導入による省エネルギー技術の実証試験

II. 実施主体名

島平第一漁業生産組合

III. 実証試験の内容

1 目的

遠洋まぐろ延縄漁船の冷却装置にインバーターや新しい制御技術を導入することによって、漁獲状況に応じた最適な運転条件を判定し、省エネルギーを達成する。

2 導入技術の概要

(1) 導入技術

- ① 凍結ファンにインバーターを設置し、ファンの回転数制御を行う。
- ② 魚倉に温度制御装置を設置し、魚倉温度を上昇させるための自動制御用ソフトウェアの開発を行う。
- ③ 発電機（2台）、冷凍機（4台）、凍結ファン（2室）にデジタル電力計を設置し、これらの電力データを収集、管理するためのデータロガーを設置する。

(2) 導入技術の方法

- ① 凍結室ファンのインバーターによる省エネ

従来の管棚凍結装置は各凍結室にアルミ製管棚と凍結ファンで構成されている。

まぐろは鰓腹を除去した後、このアルミ製管棚に頭を凍結ファン側に向けて並べられる。

その後凍結ファンは約2昼夜（48時間）連続で運転される。

この48時間の運転は、買い人の要求によるものであった。しかし凍結されるまぐろの魚体中心を計測するともっと短時間で中心温度は -5.5°C に達していることがわかってきた。

そこで、これらのデータを基に一定時間が経過したらファンの回転数を制御し消費電力量を低減しようとするのが第1の方法である。

ファン等のモーターは回転数の3乗に比例して消費電力が変化する特性を利用して省エネを行う。ファンの可変速を行う方法として極数変換モーターを使う方法とインバーターを使う方法があるが、前者は寸法、重量ともに大きく特殊なモーターになるので、今回は既存設備を変更しなくて良い、インバーター方式を採用した。

導入前後の管棚凍結室の概要を図1に示す。

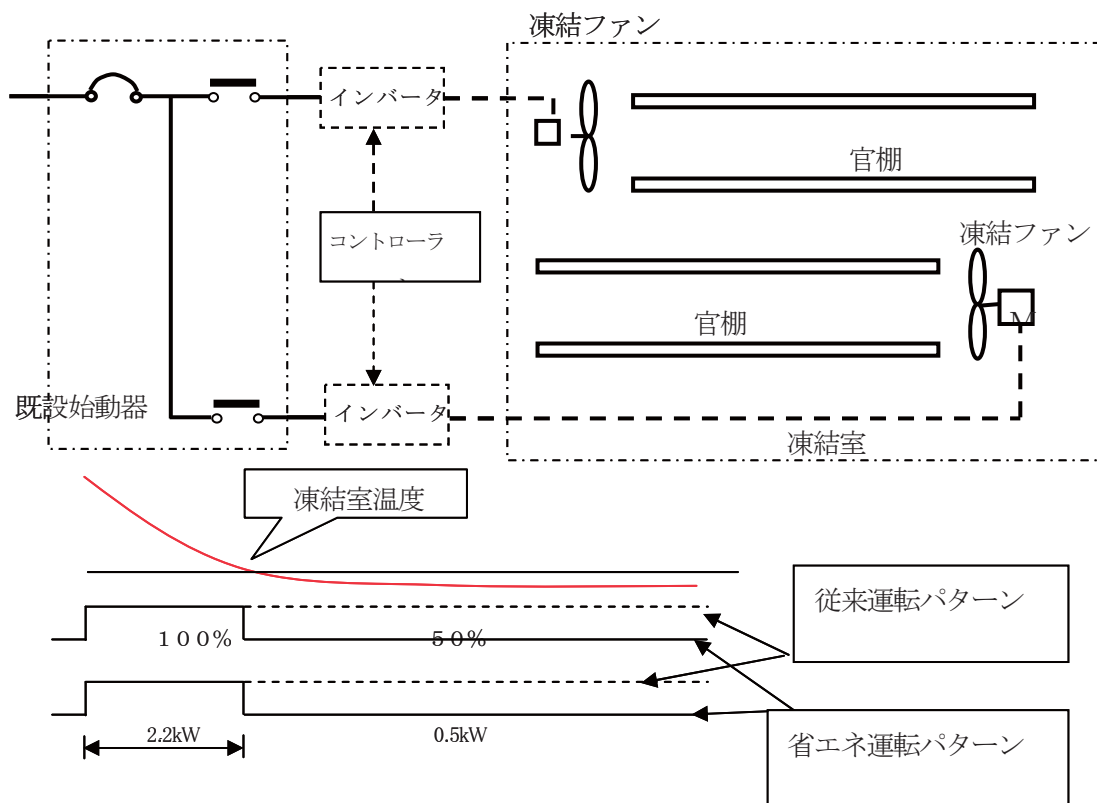


図1 凍結ファンのインバーター制御による省エネ

インバーターとは可変電圧可変周波数変換装置のことである。一般的にモーターの回転数はその極数と電源の周波数の関係で決まり変更することができなかつたが、インバーターの出現によって自由に変更することができる様になり、特にファン、ポンプ類で大幅な省エネルギー効果がある。原理は電源の交流を直流に整流した後、トランジスターやIGBTなどを使ってスイッチングし再度交流に変換する。弱点として、このスイッチング時にノイズを発生させるので周辺機器への妨害が無いように注が必要である。

② 魚倉の温度制御

現在、魚倉は約40数系統の冷却管によって冷却されている。

各冷却管には、膨張弁が配置され冷媒の供給量の調整を行っている。

冷媒はR22を使用し、蒸発圧力は温度換算で -6.0°C 以下になる。

この様な低い圧力で、冷凍機を運転するとCOP（冷凍能力/モータ軸動力）が悪くなる。

この様な、COPの悪い運転をさけるには、できるだけ低圧を上げて（温度を上げて）冷凍機を動作させると良い。

この様な、実験は開発丸でも行われ、従来の魚倉温度から -4.5°C 付近まで上昇させると約50%の動力が低減できるとされる報告が成された。

このため、本実証試験では魚倉の温度制御を自動化するための温度制御装置を装備し、乗組員の負担を伴わず、省エネを計る。

魚倉の温度制御の概念図を図2に示す。

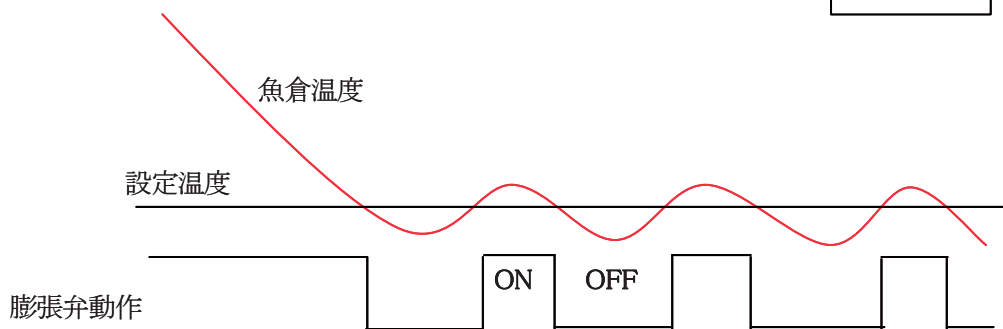
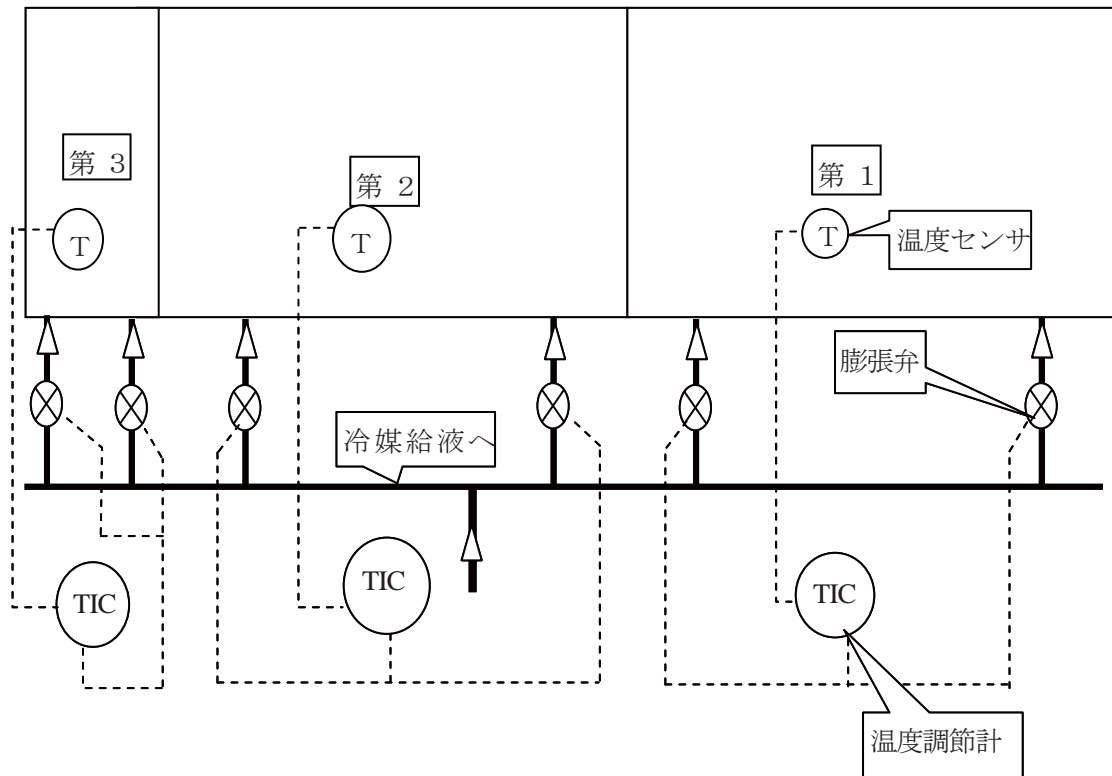


図2 魚倉の温度制御ダイヤグラム

これまでの温度式膨張弁は、冷却コイルに供給される冷媒の過熱度のみを制御してきたが、電子式膨張弁が開発されてからは、ソフトウェアを組み入れることで温度制御も可能になった。このソフトウェアを変更することで、冷媒の給液制御と温度制御の両立が可能となり、冷却装置で最も恐れられる、液バック（冷媒が未蒸発のまま液体の状態で冷凍機に戻る）現象が無くなり、かつ可変温度制御が可能になった。

もう一つの技術として冷媒の給液方法が連続式から、いわゆるPWM（パルス幅変調）という間欠方式に変わったことである。最近建造されるマグロ船の凍結装置には必ず装備されている。

今回の制御方法は特許の申請を行っている。

3 実証試験の方法

(1) 実証試験は遠洋まぐろ延縄漁船、第28松榮丸(439GT)で行った、その詳細については下記に記す。

- ① 最初に、温度制御プログラムの開発のために、シュミレーター制御盤を使ってソフトウェアの開発と電力モニターの通信試験を行った。(写真1, 2, 3, 4, 5)



写真1 データロガー



写真2 温度コントローラー (プログラマブル型)



写真3 電力表示器、周辺機器



写真4 電力モニターとデータ通信試験



写真5 ソフト開発用シュミレーター盤

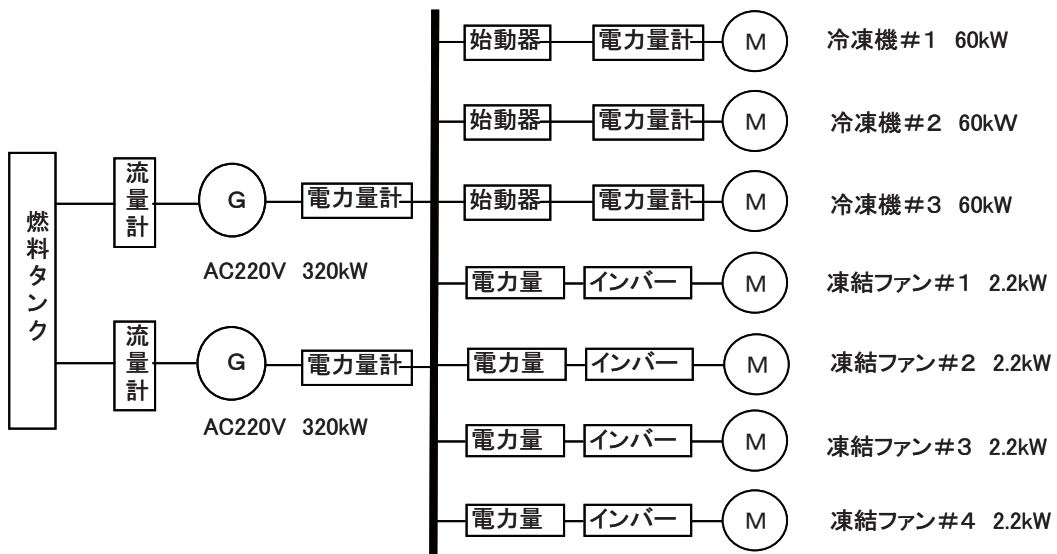


図4 電力測定系統とインバーター接続系統

6) 改造工事中の状況を写真6から写真13に示す。



写真6 改造工事



写真7 完成時



写真8 インバーター取付状況



写真9 凍結ファン用電力量計



写真10 発電機、冷凍機電力量計



写真11 電力統合モニター



写真12 冷凍機、ヘッダー



写真13 監視制御システム

4. 実証試験の方法と結果

4-1 実証試験の方法

- (1) 各種機器設置後、港内に停泊中間、予備試験を行った。
- (2) 各種機器の動作確認とデータ収集の確認および電力量、電流、電圧を船内装備の計器または持参測定器と比較し差がないことを確認した。
- (3) 最初に冷凍機を1台運転として魚倉温度が -4.5°C 前後に安定になったところで冷凍機消費電力を測定した。
- (4) 次に魚倉温度設定を -5.5°C に変更し、冷凍機を2台並列運転として温度を下げ、(3)工と同様のデータを取得した、
- (5) 次に、凍結ファンを60Hzから30Hzへ減速し、インバーターによる省エネ工効果を測定した。
これらのデータを元に
- (6) 省エネ運転は8/12から27日までの16日間を魚倉を -4.5°C 前後に制御し冷凍機を1台運転とした。
- (7) 従来運転は8/28から9/11間での16日間を魚倉を -5.5°C 前後へ下げるため冷凍機を2台運転した。
- (8) 両期間の日ごと冷凍機消費電力量の推移を表1に、補機燃油消費量を表2に示す。
- (9) 凍結ファンのデータは運転時間が不規則なため、予備試験のデータから60Hz運転を50%30Hzの運転時間を50%として推定した。

4-2 実証試験の結果

- (1) 技術導入前後の消費電力および補機燃油消費量の比較

魚倉温度最適化による冷凍機消費電力量、補機燃油消費量を表1、表2に示し、凍結ファンの省エネルギー効果を表3に示す。

魚倉温度の最適化運転時には16日間の冷凍機消費電力量は12049.5kWhで従来運転の22822.8kWhに比べて52.8%とほぼ半減されていた。

このときの冷凍機1台あたりの消費電力は最適化運転では31.4kWで予備試験の30.73kWにほぼ近いが、従来運転では予備試験が24.9kWにたいして29.7kWと1割以上電力が増えた、これは予備試験の期間が短かったため、吸入圧力を下げて運転したためであった。

凍結ファンの省エネルギーは凍結時間が36時間前後であり、漁獲量によって凍結時間や魚倉への落とすタイミングが異なるため今回は従来運転と減速による省エネ運転の時間配分を50%ずつに振り分けた操業で試算した。

その結果、1凍結あたりの消費電力量は従来凍結で311.40kWh、省エネルギー凍結では182.34kWhとなり、1凍結当たり129.04kWhの省電力が試算された。

次に補機燃油消費量は最適化運転時の日平均消費量は749L/日であり、従来運転の863L/日に比べて114L/日(削減比率は13.2%)減少した。

表1 実証試験期間の冷凍機消費電力量
 上段は24時間運転の冷凍機消費電力量(kWh)
 下段青文字は冷凍機1台の平均消費電力(kW)

最適化運転時の冷凍機消費電力量(kWh)と冷凍機1台の消費電力																
8/12	8/13	8/14	8/15	8/16	8/17	8/18	8/19	8/20	8/21	8/22	8/23	8/24	8/25	8/26	8/27	合計
776.2	779.1	775.5	736.8	757.8	754.0	773.4	778.7	743.5	750.2	743.7	715.7	730.2	763.4	738.7	733	12049.6
32.3	32.5	32.3	30.7	31.6	31.4	32.2	32.4	31.0	31.3	31.0	29.8	30.4	31.8	30.8	30.5	31.4
消費電力量の削減量(%)																52.8%
従来運転時の冷凍機消費電力量(kWh)と冷凍機1台の消費電力																
8/28	8/29	8/30	8/31	9/1	9/2	9/3	9/4	9/5	9/6	9/7	9/8	9/9	9/10	9/11	9/12	合計
1421.9	1329.0	1392.6	1425.1	1467.5	1465.6	1434.9	1428.4	1443.3	1486.4	1409.7	1415.0	1453.8	1439.6	1401.6	1408.1	22822.8
29.6	27.7	29.0	29.7	30.6	30.5	29.9	29.8	30.1	31.0	29.4	29.5	30.3	30.0	29.2	29.3	29.7

表2 実証試験期間の補機燃油消費量

最適化運転時の補機燃油消費量(L/日)																
8/12	8/13	8/14	8/15	8/16	8/17	8/18	8/19	8/20	8/21	8/22	8/23	8/24	8/25	8/26	8/27	日平均
696	711	711	711	737	737	800	783	780	769	800	700	763	766	755	760	749
燃油平均削減量(%)																86.8%
従来運転時の補機燃油消費量(L/日)																
8/28	8/29	8/30	8/31	9/1	9/2	9/3	9/4	9/5	9/6	9/7	9/8	9/9	9/10	9/11	9/12	日平均
889	889	1000	900	860	720	864	864	890	907	857	864	943	768	720	873	863

表3 凍結ファンの省エネルギー(予備試験データからの推定)
 青文字部が予備試験データ

凍結ファン	定格2.2kWx4台運転		
	消費電力(kW)	運転時間	消費電力量(kWh)
60Hz運転時	8.65	36	311.40
60Hz運転時	8.65	18	155.70
30Hz運転時	1.48	18	26.64
省エネ運転時の1凍結あたりの消費電力量			182.34
低減量	82.9%		58.6%

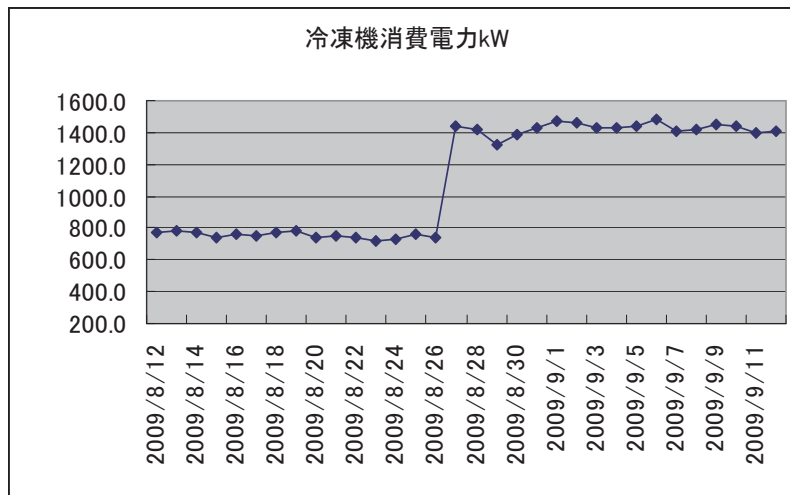


図5 実証試験期間の冷凍機消費電力量の推移

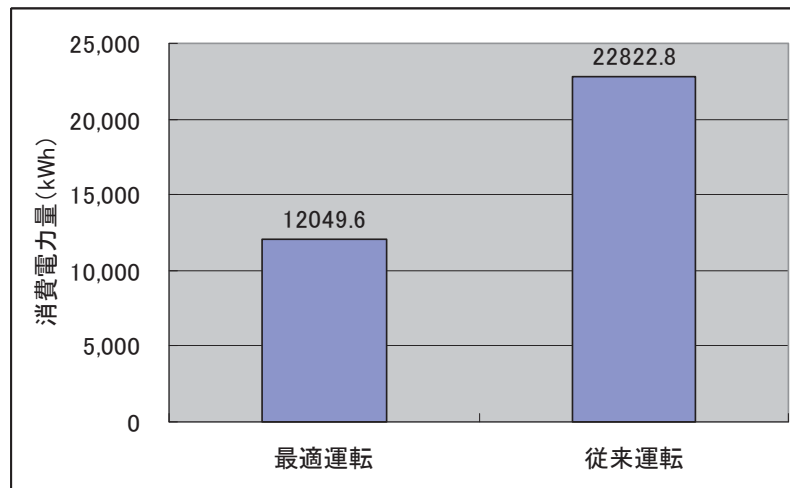


図6 実証試験期間の冷凍機消費電力量の比較 (16日分)

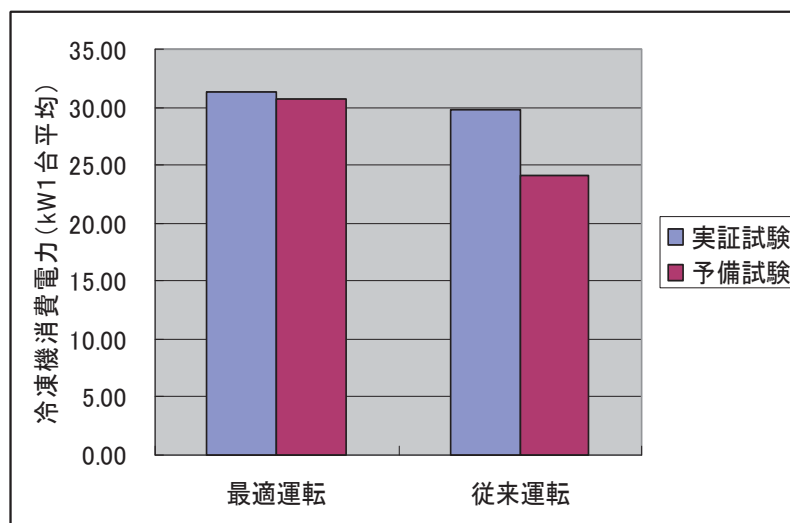


図7 冷凍機1台あたりの消費電力

4-3 省エネの評価

4-2の補機燃油削減量を基に、1年間燃油削減量を試算した。

年間操業回数を330回とすれば $114\text{L} \times 330\text{日} = 37714.97\text{L}$ の削減量となり燃油単価を 70円/L とすると $2,640,000\text{円/年}$ の経費削減と可能と試算された。

これは補機燃油消費量の13.2%減に相当する。

今回は、遠洋まぐろ延縄漁船の船内電力のかなりの割合を占める、冷凍機関係に絞って省エネルギー技術の導入を行い、目標の12%減を達成することができた。

燃油消費量削減によって、補機のCO₂、NO_xの削減効果も期待される。

しかし、今回のデータ収集で気づいたことは、電力計算書よりも少ない電力で運転されていたことであり、電力計算が過大気味に算出されており、今後は今回のようにデータの収集を重ね電力計算の精度を上げることが必要と考えられる。

5. 導入のあり方

(1) 魚倉温度の適正化について

今回の大きな目的は、魚倉温度の適正化によって省エネルギーが可能であることを実証することであったが、この成果は間もなくやってくる冷媒規制問題に一筋の光を与えることができるかもしれない。ここ数年の間に水産学会や水産関係の研究機関によって -50°C 以上で保管されたまぐろの品質に対する研究発表がなされ、品質上は -50°C 以下のまぐろと差がないことが報告されている。^{*1} これらの背景には、冷媒問題があり2015年には全まぐろ船で使用されている冷媒R-22の生産が中止され、R-22によって -50°C 以下という、まぐろ業界独特の低温流通網が成り立たなく可能性がある。これからはR-22以外の冷媒の使用を考慮し、魚倉温度の適正化を実施することが急務であるとする。

現場側も、 -50°C 以下の温度が必要な理由を知りたがっていた。いつの間にか今のような状態になってしまった。今回このような結果を現場側にも流してほしいし、業界として統一的な見解を提示し現場の負担を軽減してほしいとの意見もあった。

(2) インバーター導入について

インバーター自体は、陸上の多種多様な工場のモーターの省エネ機器として多数使われている。身近なところでは家庭用エアコンや冷蔵庫に当たり前のように使われている。

しかし、漁船のような、狭い空間にたくさんのモーターや計器類が設置されておりそれらに対するノイズの影響が懸念されていた。

特に漁船の目となり鼻となるレーダー、航海計器、無線機、魚群探知機に影響を与えることは致命的であった。しかし、最新のインバーターはノイズ対策がかなり進歩してきているのでかなり容易に使用することができるが、設置当たっては他の計器の電路と平行しないようなインバーター電路の形成や配置に注意し、インバーターからの船内機器への干渉、妨害の除去に十分な注意を払う必要がある。

(2) 設置費用の確保

初期費用を約1年で回収できるとしても現在の経営状態ではこのような改造工事が可能な経営体は少ないため、省エネ改造工事に投資しやすく、かつ標準化によって導入コストを下げる施策、融資制度が必要である。

(3) 乗組員への新技術の講習

陸の技術者とある程度の会話、やりとりができるように定期的に講習を行う。

(4) 電力の見える化

今回は冷却装置周辺にしか電力量計を設置していないが、消費電力が表示されること（見える）によって船員の意識が変わるようになった。他の機器類への設置が望まれる。

*1 平成20年度春期水産学会（中央水産研究所 大村裕治）

今週中にも同じ様な報告が発表されますので、追って連絡いたします。