

# 陸上養殖における新技術（地中熱システム）の導入

長崎県総合水産試験場 環境養殖技術開発センター 養殖技術科 科長 山本純弘

## はじめに

陸上養殖は赤潮、台風等の自然災害を受けにくく、また陸上で飼育するため給餌などの飼育作業の負担が少なく、女性・高齢者にも対応できるなどいくつかの長所があります。そのなかでも陸上養殖の最大の利点は、年間を通じて水温を調整できるので、養殖対象魚種の特徴を把握して養殖に最適な環境を設定し、その環境を安定的に維持することで、養殖期間が短くなるなど生産性が高まるということです。

しかし問題は水槽、浄化装置や循環ポンプなど施設の建設費がかかり、また飼育水を循環させるための電気代などの運転経費が必要となります。特に水温調節には重油代や電気・ガス代などの光熱費が高み、生産コストに大きく影響してきます。陸上養殖のトラフグでは、温度調節にかかった電気代がランニングコストの約20%を占めているという報告もあります<sup>1)</sup>。

本県では地域によって井戸を掘削することで年中一定温度の海水が湧出する場所があり、このような場所では温度調節に電気などを必要とせずに加温・冷却でき、経費の節約につながります。しかしこのような条件を備えた場所は限られてきます。陸上養殖のコスト削減にはローコストの安定したエネルギーが必要であり、かつそれはどこでも得られるものでなければ汎用性はありませぬ。このようなエネルギーを探している中でたどり着いたのが地中熱の利用です。

## 1 地中熱の原理

地中熱とは、おおよそ地下200mより浅い地盤に存在する数十以下の低温の熱エネルギーと定義されています。一般に10mより深い地点の温度は外界の気温変動によらず年間を通じてほぼ一定です。一般にはその地域の年平均気温より1~2前後高く<sup>2)</sup>、この一定の温度を利用して温度調節を行うことが可能な装置が地中熱ヒートポンプです。図1はその特徴をわかりやすく説明したものです。夏には水温より地中熱の温度が低くなり、冷却のための熱源として効率よく用いることができ、逆に冬には水温より地中熱の温度が高くなることから加温のための熱源として用いることができます。具体的には図2のようにコンプレッサー、凝縮器、膨張弁、蒸発器が一本の配管で結ばれた構造をしており、例えば暖房の場合は熱を汲み上げて利用可能な高温を

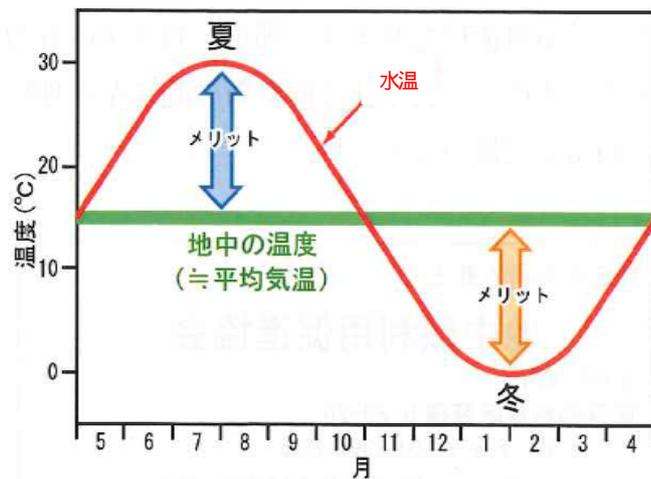
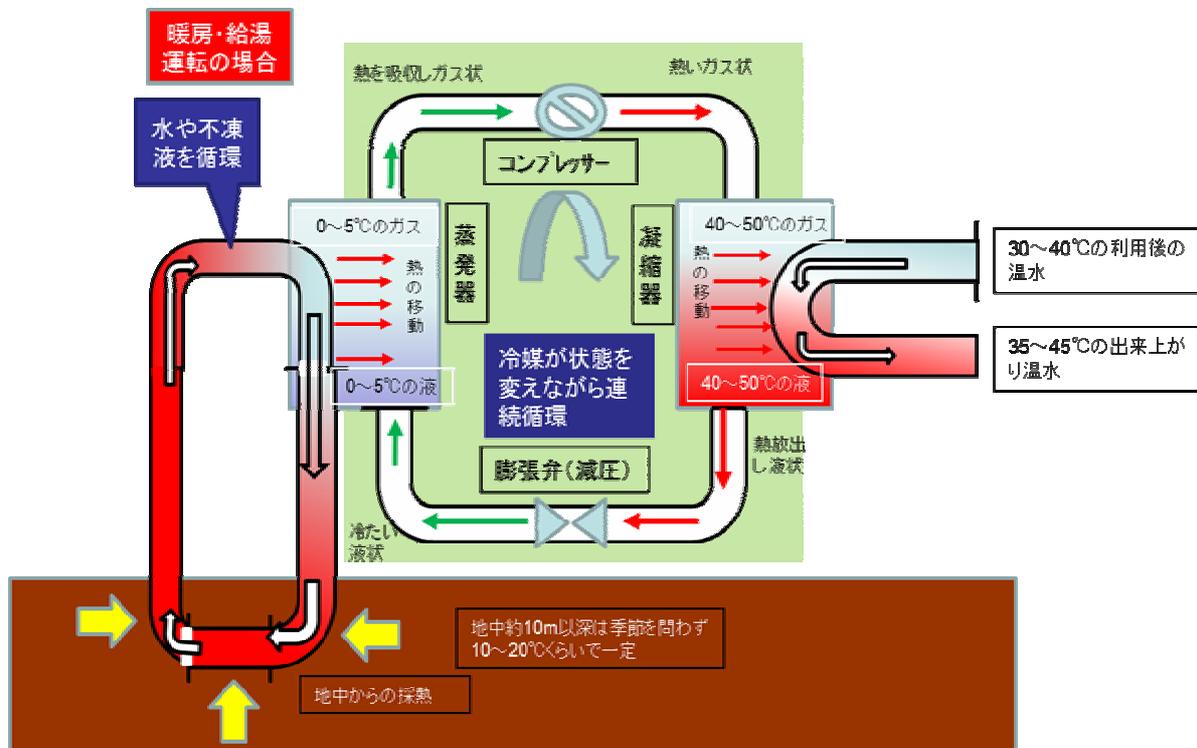


図1 地中の温度と気温の関係

得る装置で、冷媒がその中を通過する間に液体、気体と形状を変えながら熱を移動させています。逆の回転をすれば熱を奪い地中に放熱する冷房運転になります。



## 2 地中熱ヒートポンプシステムを用いた陸上養殖について

総合水産試験場では平成 24 年度から陸上養殖の実用化のため、課題となっている施設費や運転経費の削減を目指して、新しい浄化方法として県工業技術センター、県内企業と共同で開発した電気分解浄化装置と地中熱を利用した温度調節装置を合わせた飼育水循環型陸上養殖システムを導入し(図3) 飼育試験をくりかえしながら実用的で低コストで生産できる養殖技術を開発しています。この報告では、地中熱利用による温度調節効果を確認しましたのでご紹介します。

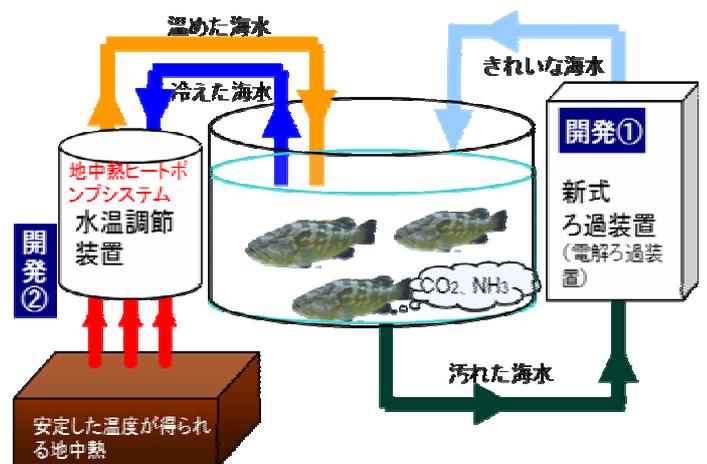


図3 飼育水循環型陸上養殖システムの概要

## 1) 地中熱ヒートポンプシステムの概要

20t 飼育水槽の温度調節のため総合水産試験場内に整備した地中熱ヒートポンプシステムの概略図を図4に示します。

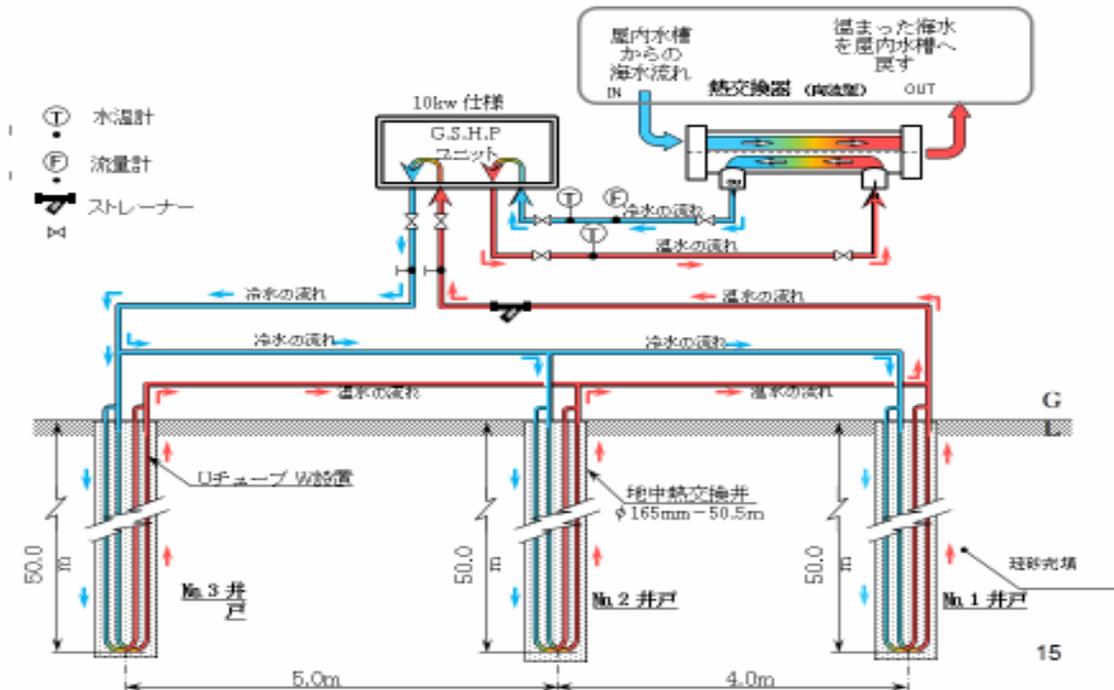


図4 地中熱ヒートポンプシステムの概略図

まず、採熱のため飼育水槽がある直近の屋外に3本の井戸を掘りました。3本の井戸は直径165mmの垂直孔50mで4～5m間隔とし、地中熱採熱管(Uチューブ)は高密度ポリエチレン製の先端をU字状に接続した2本の管で、採熱効率を高めるため2組を挿入しました(ダブルUチューブ型)。

ヒートポンプは20t 飼育水槽1基に対し10KW1台を設置しました。また熱交換器を介して、ヒートポンプ側の温水から屋内水槽側の飼育水への熱移動を行い、飼育水温を調節しました。なお、当該地域は冬期でもあまり凍結しないため、地中に埋設したUチューブとヒートポンプから熱交換器に向かう配管には冷媒より熱伝導効率がよい水(水道水)を充填しました。

## 2) 地中熱ヒートポンプシステムを用いた飼育試験

このシステムと電気分解ろ過システムを組合わせた陸上養殖施設は平成25年2月に完成し、クエを用いて飼育試験を開始しました。飼育設定温度は、別途クエの水温別飼育試験の結果から26と23が最も成長が良い水温でしたが、加温コストを考慮し23と設定しました<sup>3)</sup>。飼育試験での加温期間は自然海水温が22を下回った平成25年11月14日から開始し、同様に22を上回り始めた平成26年5月15日まで行いました。

## 3) ボイラーと比較した地中熱ヒートポンプのコスト削減効果

地中熱ヒートポンプとボイラー(対照区)でそれぞれ20t水槽を注水しながら加温し、設

定温度を維持するのに必要な電力量とガス使用量を比較しました。20t 水槽の海水が 1 日で全部入れ替わる場合を換水率 100%とし、この条件の下でそれぞれ 20t 水槽を水温 23（自然水温との差は 4~6）に維持するために必要な電力使用量またはガス使用量を求めました。なお、対照区は同じ期間中に中圧ガスによるボイラー加温を行いました。その結果、換水率 100%での電気使用量は平均 57KWh/日で、中圧ガス使用量は平均 14.6 m<sup>3</sup>/日でした。

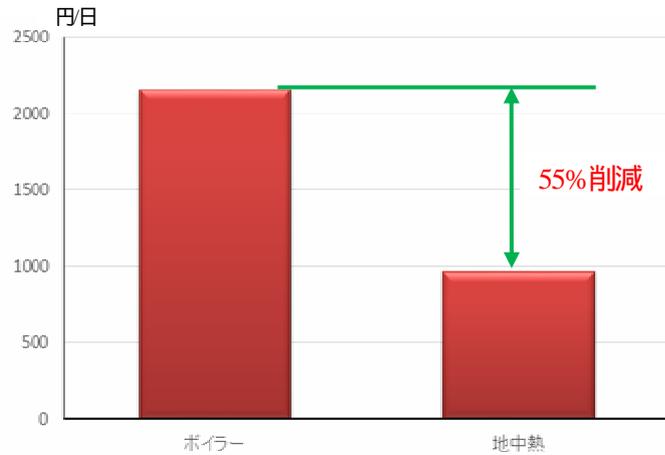


図 5 地中熱とガスボイラーのコスト比較

これらを金額換算して比較すると地中熱ヒートポンプの電力料金は水試の電力契約単価 16.9 円/KWh (11 月)であったため 963 円/日となり、対照区のボイラー代はガス契約単価 (11 月) 148 円/m<sup>3</sup>であったため 2,161 円/日となりました。このことから地中熱を利用した場合は従来のガスボイラーを使用した場合に比べ約 55%の経費を削減できることが確認できました (図 5)。

#### 4) 換水率を下げた場合のコスト削減効果

上述のとおり換水率 100%においては通常の加温経費と比べかなりのコスト削減につながることが実証されましたが、外部から飼育水の補充を極力少なくし、循環再利用することで、その効果をより高められることが考えられます。別の試験として換水率を変えながら 1 日当りの電力使用量を計測した結果を図 6 に示します。この試験期間での自然海水温と水槽設定温度 23 との差は約 7~8 でした。この際の換水率 100%の電力使用量は上述の 57KWh/日より自然水温との差があり 61KWh/日とやや上がりましたが、換水率を下げると電力使用量も徐々に下がり、換水率 10%では 23KWh/日となりました。このように閉鎖度を高めると加温経費は少なくて済みます。

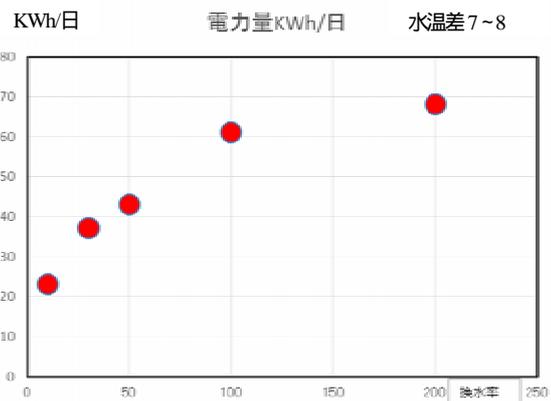


図 6 換水率別 1 日当り使用電力量

### 3 おわりに

今回は総合水産試験場で開発に取り組んでいる陸上養殖システムのうち地中熱を利用したヒートポンプシステム導入による水温調節のコスト削減効果について紹介しました。

陸上養殖は飼育環境をコントロールできるため、通常海面では飼育が難しい魚種も養殖できるなど、魚種の多様化が図れる養殖方法の 1 つとなります。さらに成長を早めることが可能と

なり、養殖期間の短縮が図られることで養殖経営を有利に展開できるようになります。しかし冒頭述べましたように課題はコスト削減です。ご紹介しました地中熱を利用した温度調節において、経費節減の効果は確かにありましたが、この他にも高い初期投資や飼育水循環のためのポンプ代の節減など残された課題があります。また、陸上養殖では収益性を高めるため可能な限り高密度で飼育する必要がありますが、そのような状況下では残餌・糞により飼育水が悪化しやすいことから装置の浄化能力を向上させるという課題もあります。今後はこれらの課題を1つ1つ解決しながらこのシステムを実用可能なものとし、本県養殖業の振興に役立ててまいりたいと考えます。

## 文 献

- 1) 第2回陸上養殖に関する勉強会(水産庁):東京海洋大学資料,平成25年3月21日.
- 2) 地中熱ヒートポンプシステム:オーム社(東京),2007
- 3) 山本純弘・横山文彦・中田久:陸上養殖振興プロジェクト推進事業,平成25年度長崎県総合水産試験場報告,pp104-107