

プラント循環系多目的多段階利用技術開発研究 マイクロガスタービン・コジェネレーション・システムと 多段階利用実証モデル実験装置の導入

田 島 健 司 (現高知県栽培漁業センター)

要 約

海洋深層水共同研究センターでの熱エネルギー収支を見積もったところ、30Kwマイクロガスタービンコジェネレーションを導入することにより、設備機器類の排熱と吸熱が1日あたりそれぞれ2,700Mcal程度で熱収支が均衡すると考えられた。しかし、空調からの回収熱量が減少する夜間や冬期には熱バランスの維持が困難になると予想された。これらの検討結果をもとに、平成13・14年度にかけてマイクロガスタービン・コジェネレーション装置と多段階利用実証モデル実験装置の仕様決定と導入を行い、海洋深層水共同研究センター内の各プラントを連結した多目的多段階利用システム実証試験設備を完成させた。

1. 背景及び目的・目標

高知県に端を発した海洋深層水の産業利用が全国的に拡大している。しかし、既存施設の大半は従来から使用されていた施設の転用であり、新たに建設されたものでも脱塩水や製塩などの製造加工に特化した施設が多い。そのため、施設内に入った深層水はその特性（低温性・恒常性・清浄性・富栄養性など）の一部が利用されたあと、原水に近い状態のまま廃棄されているのが実状である。

深層水がもつ多面的な特性を効果的に回収し、取水量に限界がある深層水の利用効率の向上を図ることが期待される。そのためには深層水利用の要素技術の最適化とともに、プラントを構成する装置類の組合せの最適化が必要である（表1）。

効率的な資源性回収を図るための手法として深層水の多目的多段階利用が提案され、関係者にはよく知られた概念となっている。しかし、実施での普及はほとんど進んでいない。

表1 深層水の資源性とその利用状況

	低温性	清浄性	富栄養性	恒常性
空調	○	○	△/×	○
低温庫	○	○	△/×	○
製氷機	○	○	△/×	○
ミネラル調整	×	○	△	○
脱塩水	×	○	△	○
試験配管	○/×	○	△/×	○
魚貝類養殖	○/×	○	○/△	○
海藻養殖	○/×	○	○	○

○：利用 △：未利用 ×：抑制的作用

その理由として、システム導入のための設備投資（施設と設備の改良・改造あるいは新設備の導入）とランニングコストの増減が未知であること、運用によって投資費用が回収できる見通しが不明であることなどが考えられる。加えて、実用施設の建設では当面必要な設備と規模の検討が最優先され、未成熟の技術である深層水の多目的多段階利用のために最適化したプラント構成（施設内あるいは複数の施設間）と施設規模に応じた運用技術導入までは検討が及ばないということも考えられる（図1）。

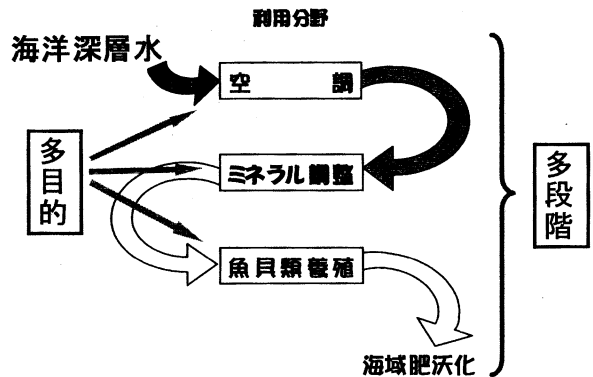


図1 多目的多段階とはどういうことか？
限られた水資源を高度に利用し経済性を向上させるための技術
(図中の利用分野は一例。利用分野の組合わせは柔軟に対応可能)

本研究では、このような現状の改善を図るため、共同研究グループ（エネルギー使用合理化海洋資源活用システム開発研究・資源エネルギー分科会）の各研究機関が行う深層水の資源性（低温性・清浄性・富栄養性・恒常性など）活用のための要素技術の最適化研究に並行して、室戸市高岡の海洋深層水共同研究センター内の各種プラントの最適配置とセンターでのエネルギー収支の改善を図るための試験装置について検討し、深層水の多目的多段階利用に関する実証モデルを構築することを目的とした。

2. これまでの結果

これまでの研究では、室戸市高岡に建設する実証用プラントの技術マップをもとに、ミネラル調整装置、海水氷製造装置、深層水冷熱を利用した低温庫、海藻類培養装置などのプラント配置と配水シーケンス、装置類の熱収支等の検討を行い、少ない深層水を装置間で再利用・再々利用することによって見かけの給水量を確保し、資源性回収の効率向上を図る手法の開発を行ってきた。

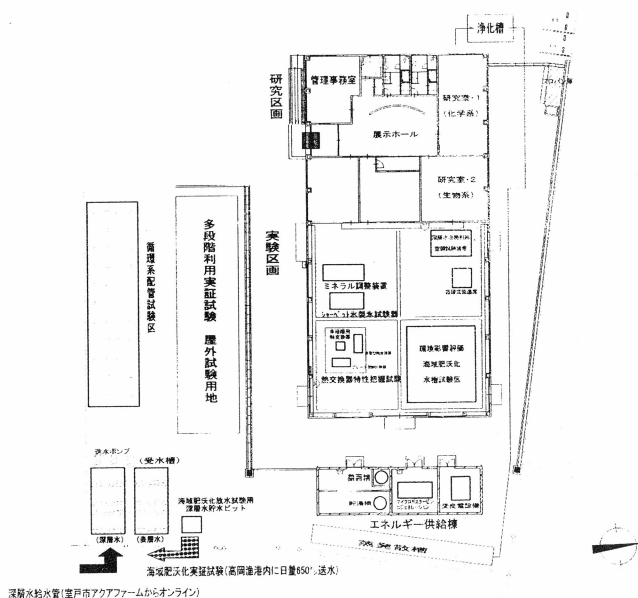


図2 海洋深層水共同研究センターのプラント配置

その結果、室戸市高岡の海洋深層水共同研究センターでは、深層水は空調・低温庫・製氷装置などの冷熱源として一次利用した後、幾分温度の上昇した状態でミネラル調整と生物生産、最終的には隣接地の高岡漁港での海域肥沃化用として利用するのが合理的であると考えられた。しかし、同センターでは、装置類からの排出熱量に比べて熱需要が相対的に大きく(表2)、恒常的な加熱用熱源が必要であると考えられたため、熱源として今後利用が増加すると予想されるコージェネレーション熱電併給による熱収支の改善について検討し、電力と温水供給による多段階利用の実用性と経済性を実証的に評価していくことを計画した(表3)¹⁾²⁾。

表2 各種プラントの熱収支

プラント名	負荷形態	負荷の想定規模
空調	排熱	大(季節変化有)
低温庫	排熱	小
製氷	排熱	中
ミネラル調整	要加熱	小
脱塩水	要加熱	小
試験配管	要加熱	大
施設栽培	排熱	中(季節変化有)
魚貝類養殖	要加熱	大
海藻養殖	加熱・非加熱	中～大

負荷の想定規模: 大/日量100Mcal 中/日量数10Mcal 小/日量数Mcal

表3 海洋深層水共同研究センターのプラント規模と日間熱収支

	プラント規模	日間熱量 Mcal/日
空調	200m ² ・10時間	1,000
低温庫	16m ³	190
施設栽培	100m ²	30
製氷	3t/日	300
MGT	Net28Kwh	1,152
発電量小計		2,672
ミネラル調整	4m ³ /日	40
海域肥沃化試験	200m ³ /日	1,152
循環系への温水供給	480m ³ /日	1,440
熱利用小計		2,632
余剰熱量		Δ40

3. 実施内容

3.1 マイクロガスタービン・コジェネレーション

3.1.1 機器の概要

マイクロガスタービン・コジェネレーションシステム（以下、MGTと略す）の概要を図2に示した。

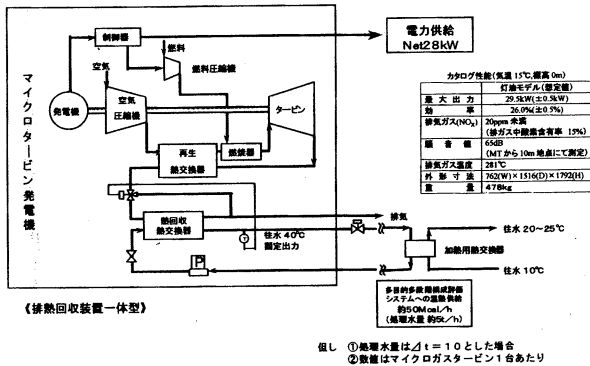


図3 マイクロガスタービン・コジェネレーションシステム (MGT) システムフロー

3.1.2 マイクロガスタービン・コジェネレーションの仕様

マイクロガスタービン・コジェネレーション・パッケージ（発電・温水パッケージ）は、次の2点を条件として仕様を検討し、主要項目を下記のとおりとした。

装置は、以下の仕様に基づく入札により、タコマ製TCP30（灯油燃焼型30Kwマイクロガスタービン・コジェネレーションパッケージ）に決定し、平成14年3月にセンター内エネルギー供給株に据え付けを行った。

- ① 運転形態は、発電の利用効率を高めるため系統連携とする（発電時は発電機の電力を最大限利用し、発電機の休止時と消費電力が供給電力を上回った場合は商用電源を利用する）
- ② 燃料は現地での調達が容易で、価格的に安価な灯油燃焼型とする。

3.1.2.1 設備の規模

発電機：燃料灯油型マイクロガスタービン

発電能力：27Kw（3相210VAC 60Hz）

電気系統：系統連携盤・保護回路

温水出力：56Kw（=41,870KJ/h）

給湯温度 入口/出口=60/70℃、Δt=10℃

燃料消費量：11.8L/hr

給気量：3,000Nm³/hr

排気量：2,200Nm³/hr

排気接続口径：φ250mm

排気温度：90℃

燃料：灯油

3.1.2.2 温水パッケージ（本体内容組み込み）

排熱回収方式：真空式排熱回収方式

温水供給温度：60～70℃

（80℃で制御モード・オン）

温水配管：密閉サイクル式（膨張タンク）

温水流量：4.8m³/hr

循環ポンプ：0.65Kw

貯湯槽：500L

給湯ポンプ：200L/min

3.1.2.3 燃料供給

給油タンク：レベル計・レベルスイッチ付き

容量：0.9KL

給油ポンプ：出口圧力調整弁付きギア式ポンプ

（送油能力 15L/hr）

電動機容量：AC200V 0.2Kw

3.1.2.4 制御盤

型式：屋内設置密閉自立型

電源：AC200V 3相 60Hz

負荷容量：送油ポンプ 0.2Kw

循環ポンプ 0.29Kw

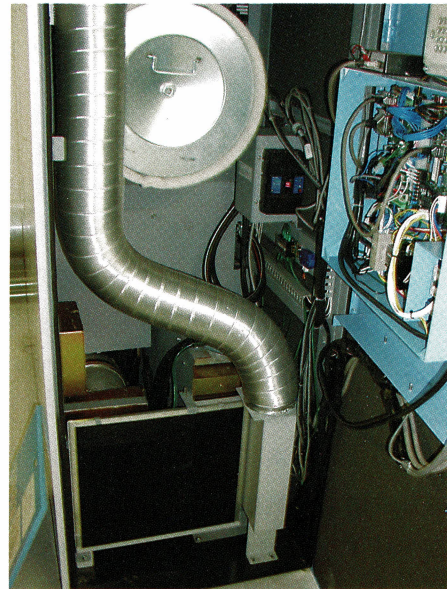
主要組込機能：主開閉器、分岐開閉器・警報表示

灯、保護経電器、電力トランスジューサ、

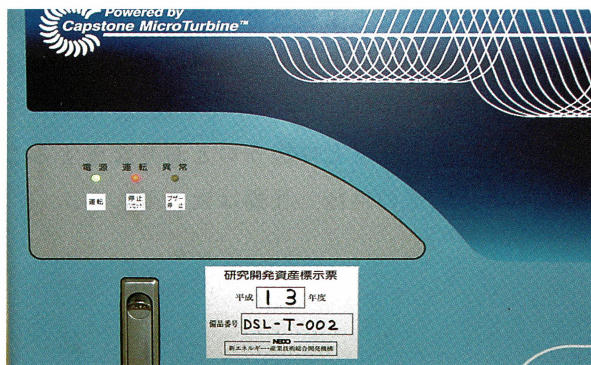
起動/停止ボタン・運転信号出力



TCP30 (後：燃料パイプと給湯管 上：給気ダクト)



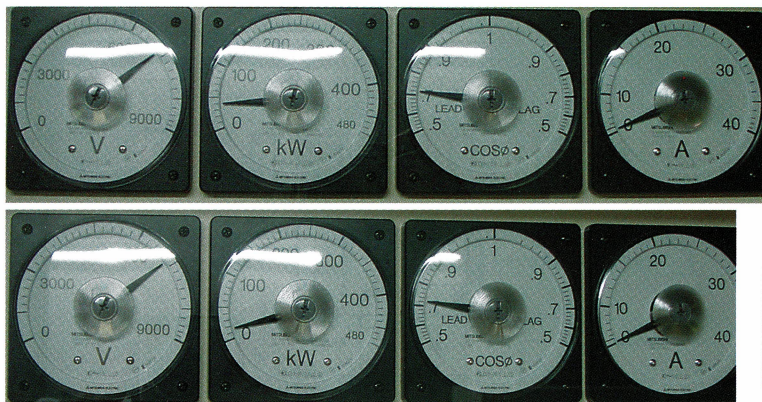
TCP30内部



TCP30前面パネル



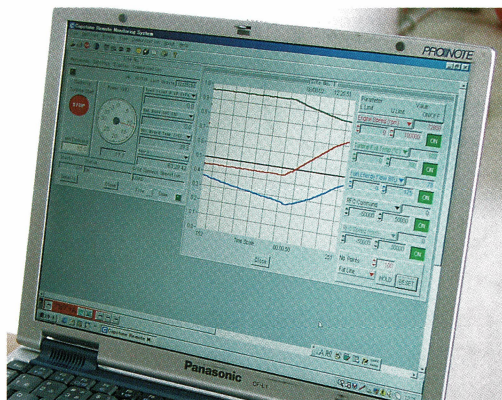
TCP30铭板



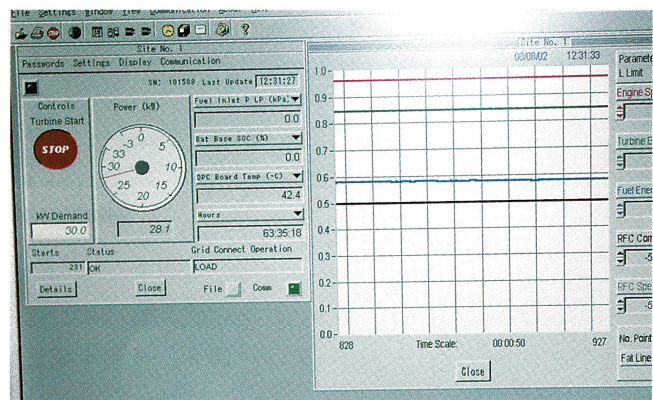
受電盤の状態 上段：発電開始前 (消費電力45Kwh)
下段：発電安定時 (消費電力15Kwh)



TCP30コントローラー (29.8Kwhを表示)



発電器起動時のモニター画面 (赤線：回転数)



安定状態のモニター画面 (発電量28Kwh)

図4 マイクロガスタービン・コジェネレーション (TCP30) の運転状態

3.1.3 マイクロガスタービン・コジェネレーションの設置

図4に設置状況と運転状況を示した。

運転状態は非常に安定しており、規定値の発電量・発熱量が維持されていることが確認できた。

MGTの導入により、センターでの熱源（熱を出す設備）は、MGT、空調、低温庫、製氷機の5項目となり、熱利用（温かい深層水を利用する装置）はミネラル調整、多段階利用水槽システム（生物生産）、循環系試験配管の3項目となった。これら装置間での熱収支は、空調を利用する高温期は熱供給側2,781Mcal、熱利用側2,632Mcalとなり、熱収支はバランスすると考えられた。しかし、空調の排熱が減少する秋から冬ではセンター全体で加熱要求が増加すると考えられた。

3.2 多段階利用モデル実験装置

平成14年度は、MGT設置に引き続き、深層水プラント循環系の主要構成要素である多目的多段階利用モデル実証用試験設備の仕様の決定と導入

を行い、センター内の各プラントを連結した実証試験用設備を完成させることを目標とした。

具体的には、MGTの温水を熱源にして海洋深層水を設定水温に調整し、海洋深層水の多目的多段階利用技術のモデル実証試験（膜濾過装置の性能試験や生物生産速度に関する研究など）のための試験装置の開発と導入である。

3.2.1 試験装置の構成

モデル実証試験装置の構成について検討した結果、装置は(1)深層水温度調整装置、(2)異なる水温での実験を並行して実施できる多段式水槽、(3)環境観測用機器の3つのユニットで構成し、センターのプラント配置をもとに図5のとおり設置することとした。装置の性能・仕様は次に示した。

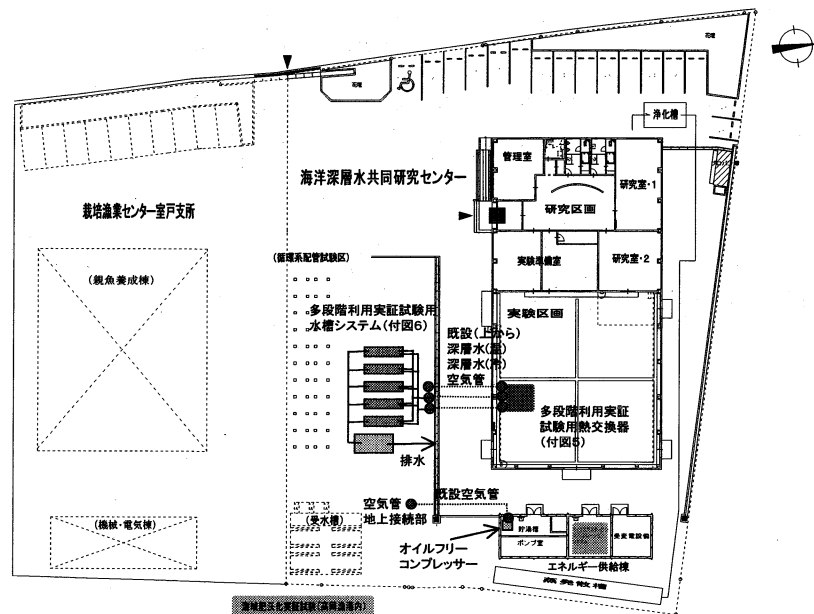


図5 モデル実証試験装置の配置

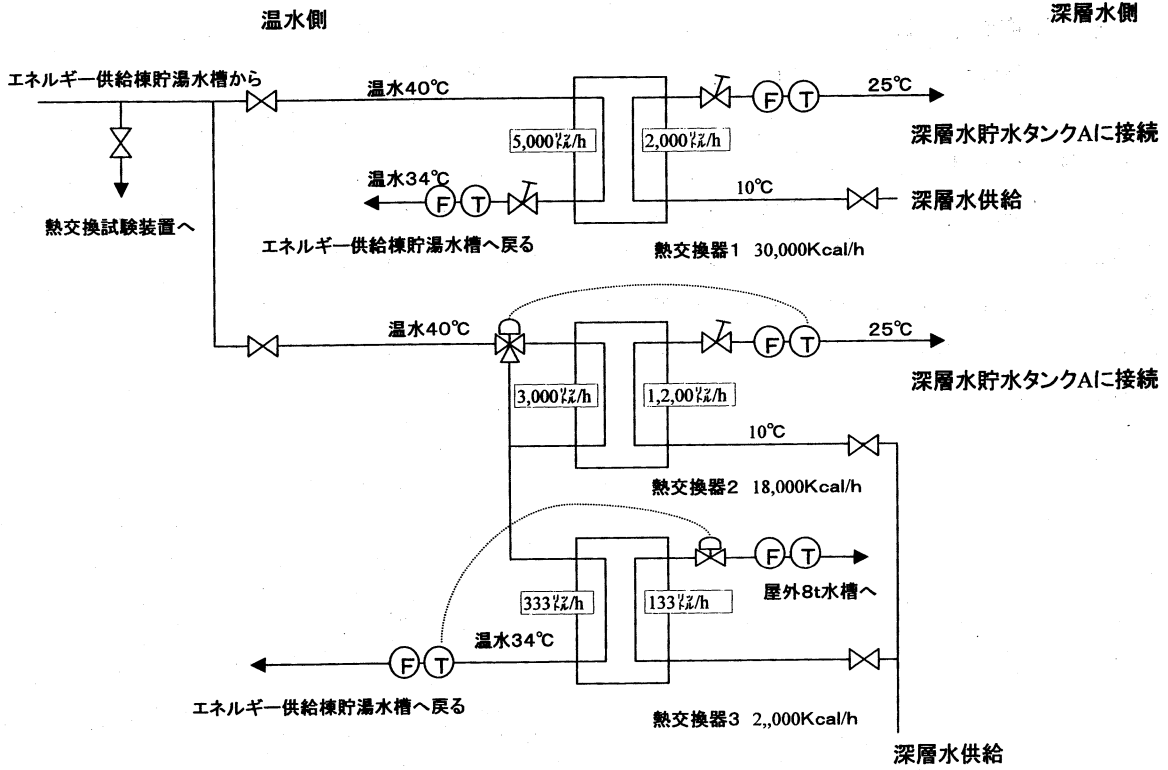


図 6 温度調整装置

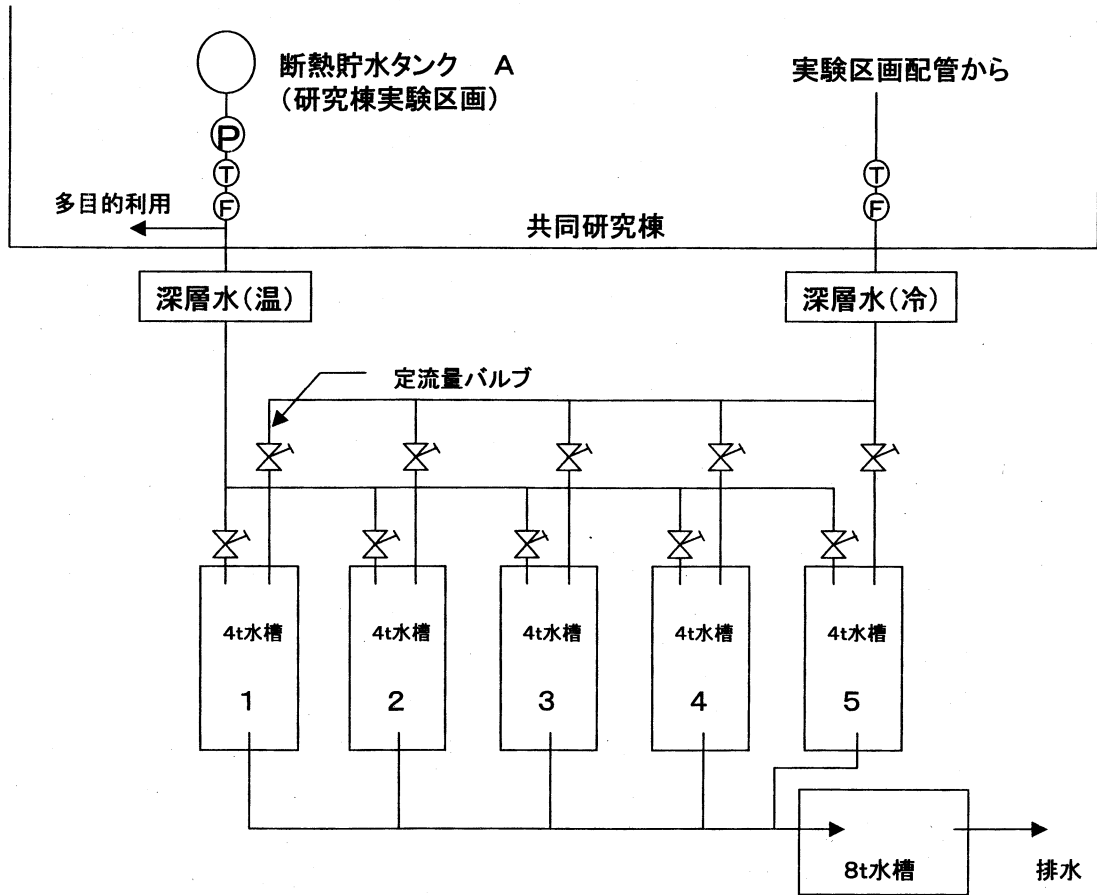


図 8 多段式水槽への給水方法

3.2.2 深層水温度調整装置

深層水温度調整装置の概要を図6に示した。

3.2.2.1 深層水温度調整装置の概要

深層水の水温制御方法：熱交換器の海洋深層水と温水の出口温度をセンサーで感知し、温水と海洋深層水の状態変化に応じて深層水の流量を電動弁で調整することでMGTの熱を全て深層水に熱交換するシステムを構築する。

3.2.2.2 熱源

① MGT(既設)の供給熱量は定格56Kw(48,000±2,000Kcal/h)であり、既設の貯湯槽から温水(淡水)として供給し、この熱量をすべて熱交換して深層水を設定水温に調整する。

② 深層水温度調整装置の温熱源である温水は、水温40℃、流量8,000ℓ/h(6,000~15,000ℓ/h)で供給し、深層水と熱交換の後、34℃で貯湯槽に戻す。従って、温水の熱交換前後の温度変化は下記のとおりである。

入口温度/出口温度=40/34℃

(40℃/32~37℃で可変)

Δt (温度差) = 6℃ (8~3℃で可変)

③ 冷熱源である深層水は、水温10℃(成り行き)、最大流量3,300ℓ/hでの供給を前提とし、温水と熱交換して25℃に水温調整した状態で断熱貯水タンク及び屋外8m³角形FRP水槽に配水する。従って、深層水の熱交換前後の温度変化は下記のとおりである。

入口温度/出口温度=10/25℃

Δt (温度差) = 15℃

(出口側深層水温度25℃で一定)

3.2.2.3 深層水温度調整装置の機器構成と水温調整方法

- ① 熱交換器の構成：チタン製プレート式熱交換器3台。
- ② 水温調整機器の構成：定流量弁3個、電動3方弁1個、電動2方弁1個、測温抵抗体5個、流量計5個及び制御盤1式とし、制御盤内の水

温と流量はデータロガーで記録する。

③ 水温調整方法

- ・熱交換器1：定流量弁を用いて、手動の流量調整により水温を調整する。
- ・熱交換器2及び3：温水と深層水の温度を温度センサー(測温抵抗体)で監視し、その温度出力をもとに電動3方弁と電動2方弁の開度を制御し水温調整を行う。

④ 装置の設置：熱交換器・定流量弁・電動弁・制御盤は架台上に取り付け、センター実験区内の温水と深層水の既設配管に接続する(図7)。

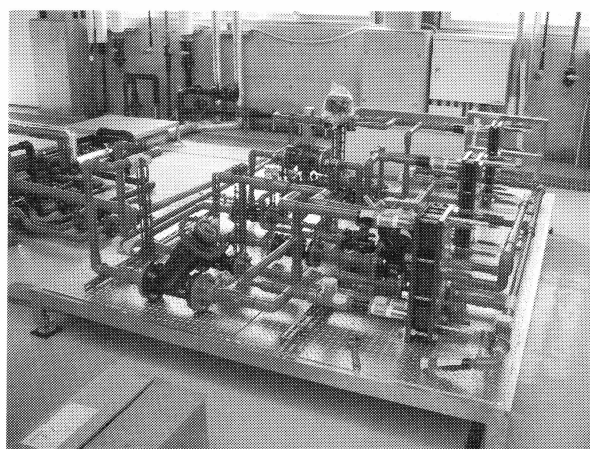


図7 深層水温度調整装置

3.2.3 多段式水槽

多段式水槽の概要を図8に示した。

3.2.3.1 多段式水槽水槽の構成と配置位置

- ① 4m³角形FRP水槽の標準設定水温は25℃、21℃、18℃、15℃、12℃とし、各水槽で利用した深層水は大型8m³角形FRP水槽1槽に自然流下させる。8m³角形水槽の水温は18.2℃(4m³角形水槽の平均値)とする。
- ② 水槽は海洋深層水共同研究センター屋外試験用地に配置する。
- ③ 8m³水槽へは4m³水槽の排水を水槽の高低差を利用して自然流下させるため、両水槽の水面は高低差20cm以上とする。
- ④ 水槽への給気用としてエネルギー供給棟熱交換器室にオイルフリーコンプレッサーを設置し、

既設空気用配管を利用して水槽に給気する。

3.2.3.2 屋外多段階式水槽への深層水供給温度の制御方法

- ① 深層水の温度調整は、可変式定流量弁（ニードルバルブ）を用いて高温深層水と低温深層水の定量を水槽直前で混合して行う。

（混合比の例）

低温水：高温水 出口温度

100： 0 → 10.0℃

75： 25 → 13.75℃

50： 50 → 17.50℃

25： 75 → 21.25℃

0： 100 → 25.0℃

- ② 上記方法とするため、深層水温度調整装置で調整された高温の深層水を貯水する断熱貯水タンクを用意し、断熱貯水タンクから各水槽へはマグネットポンプで加圧して送水する。
- ③ 給水される深層水（高温と低温）の流量と温度を計測・記録するため、共同研究棟内の配管に流量計と温度計（測温抵抗体）を設置し、出力を深層水温度調整装置用制御盤内のデータロガーで記録する。

3.2.4 環境観測用機器

深層水を加熱することによる水質の変化と実験環境を把握するため、水温・塩分（電気伝導度）・pH・溶存酸素・酸化還元電位の計測センサーと生物生産に関係する太陽光の強度を測定する光量子センサーの仕様を検討し、YSI ナノテック製マルチ水質メーター・モデル556MPSとアレック電子製・照度計MDS-MkV/Lを選定した。

上記仕様の機器が平成15年3月に海洋深層水共同研究センターに設置され、試運転の結果、所定の性能を有することを確認した。

4. 今後の実施内容

平成15年度においては、これまでに共同研究で整備してきた海洋深層水共同研究センターの試験装置とMGT及び多段階利用水槽システムの連携的運用を一定期間連続的に行い、海洋深層水の冷熱利用とMGT熱電併給の省エネ性・経済性を把握・評価することが必要である。

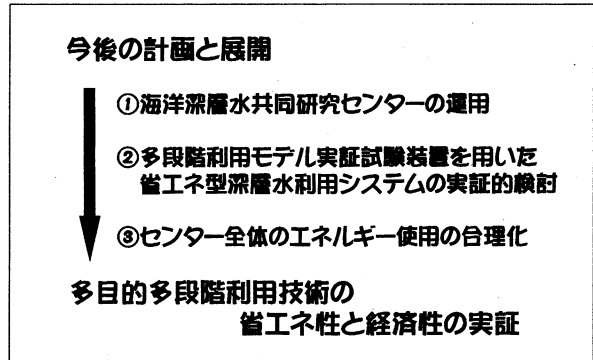


図9 今後の実施計画

5. まとめ

- (1) 日量千トクラスの小規模施設では深層水利用のスケールメリットが期待できないため、深層水の資源性（低温性・清浄性・富栄養性・恒常性）活用の方法とプラント構成要素の最適化を行い、利用のシステム全体での経済性向上を図ることが重要であると考えられた。
- (2) 室戸市高岡の海洋深層水共同研究センターでは、システム全体の運用の効率化を図るため、①冷熱利用設備、②清浄性活用設備、③富栄養性利用設備の順に配置し、深層水の循環再利用を図ることで見かけの給水量を確保するとともに、その資源性が有効に利用できるようプラント配置を最適化した。具体的には、センターの配水は受水槽から順に、空調・低温庫・製氷装置の冷熱源として一次利用し、幾分温度の上昇した状態でミネラル調整と多段階水槽システムでの生物生産、最終段階として隣接漁港での海域肥沃化試験が基本的な順序である。
- (3) センター全体の熱収支は、空調などから得られる熱量が比較的小さく、逆に、生物生産など

で加温用の熱源が常に必要であることから、マイクロガスタービン・コージェネレーションによる熱電併給を検討し、機器の仕様決定と導入を行った。

- (4) MGTの導入により、センターでの熱供給（熱を出す設備）は、MGT、空調、低温庫、製氷装置、施設栽培の5項目となり、熱利用（温かい深層水を利用する装置）はミネラル調整、多段階利用水槽システム、循環系試験配管の3項目となった。これら装置間での熱収支は、空調を利用する高温期は熱供給側2,781Mcal、熱利用側2,632Mcalで熱収支は均衡すると考えられた。しかし、低温期では空調からの熱量が減少し、センター全体で熱量が不足すると考えられた。深層水の実使用量を減らす節水技術の開発やプラント間の接続を更に合理化し、深層

水の加熱エネルギーを減らす工夫が必要であると考えられた。

- (5) MGTの供給熱量を有効に活用し、深層水の多段階利用を実証的に検討するモデル実証試験施設を開発し、その装置の据え付けを行った。
- (6) 今後は、これまでに整備した機器類の総合的長期運用試験を行い、海洋深層水の冷熱利用とMGT熱電併給の省エネ性・経済性並びにライフサイクルアセスメント（LCA）的評価を行うことが必要である。

本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託研究を受託した社団法人日本海洋開発産業協会（JOIA）からの助成金により行った。