

海洋深層水複合利用システムの試設計と 事業成立性の検討

A Design of A Deep Seawater Composite Utilization System and The Examination of The Business Possibilities

森野 仁夫¹・萩原 運弘¹・平田 龍善²・藤田 恒美³
松林 恒夫⁴・豊田 孝義⁵・中島 敏光⁵

Kimio MORINO, Kazuhiro HAGIWARA, Tatsuyoshi HIRATA, Tunemi FUJITA, Tuneo
MATSUBAYASHI, Takayoshi TOYODA and Toshimitsu NAKAJIMA

Abstract

We examined the business possibilities of the deep sea water utilization system which was composed with the high productivity products selected from each field of mariculture, bio-chemical and the agriculture.

As a result of the examination, even when there were one half of subsidy to construction of a deep sea-water intake equipment, it found that there was only a profit of the level which the loss doesn't occur to.

Although reduction of the intake facilities construction expense was consequential in order to materialize industrialization of a deep sea-water utilization technique, it can come, simultaneously being improved by the productivity beyond the present level also at a utilization production side was suggested. From now on, it will become important to develop the efficient production technology of high added value products and the utilization technique which cannot be done if it is not a deep sea-water. Moreover, it was understood that it is also effective that a country and a self-governing body consider as the policy which intended inspiration of area promotion or new-industry creation, and establish an subsidy system to construction of a deep-sea-water intake facilities.

Key Words: *Deep seawater, composite utilization system, mariculture, bio-chemical, agriculture, co-generation, air-conditioning, intake facilities, business possibility, subsidy*

1. はじめに

近年、海洋深層水は水産分野を始めとして多くの分野で利用技術の開発が進められており、その実用化が期待されている。しかし、これまで我々各社が深層水利用技術の開発に取り組んできた経験から判断して、現状の生産技術をもって水産、食品あるいは医薬品などの単独分野で事業化を図ることは、深層水取水装置の建設費の負担を前提とすると、非常

に困難と判断される。

深層水利用技術が経済的に成立するためには、取水装置の建設費が安価になることはもちろんであるが、利用生産の側においても、複数の事業分野を組み合わせ、深層水を多段利用で十分活用しつくすような複合的生産システムを構築することによって、事業の採算性の向上を図る必要がある。

本報告では、水産、バイオケミカルおよび農業の各分野から生産性の高い生産要素を選定して、これ

¹清水建設(株)技術研究所 (〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17)

²日本水産(株)中央研究所 (〒192-0906 東京都八王子市北野町559-6)

³(株)N Y K輸送技術研究所第2研究グループ (〒235-0033 神奈川県横浜市磯子区杉田5-32-84)

⁴クロレラ工業(株)学術部 (〒105-0012 東京都港区芝大門2-4-6)

⁵海洋科学技術センター海洋生態環境研究部 (〒237-0061 神奈川県横須賀市夏島町2-15)

らを組み合わせた複合利用システムを構築し、事業としての成立の可能性を検討した結果を示す。

なお、本報告の内容は1992年に海洋科学技術センターと民間企業4社の共同研究において検討した結果^{1), 2)}をベースとしており、本報告で示した数字は、当時の技術条件、社会条件を基に算出されたものである。

2. 複合利用システムの概念

(1) 複合利用システムを構成する目的

深層水利用技術の事業化に際して複合利用システムを構成する目的は、深層水の持つ低水温性、清浄性、富栄養性などの特性をできるだけ有効に使うというものであり、その背景には、①取水コストの低減化、②建設コストと運転コストの分散化、③深層水排水の放流影響の回避などの狙いがある。

現状では深層水の取水コストが高いこと、また、単独の利用用途で深層水の特性のすべてを使うような用途が少ないことから、くみ上げた深層水を幾つかの異なった特性を必要とする用途で何度か使うことによって、単位生産当りの取水コストを低減させることができ、これによって事業の採算性を向上させることができる。また、一般に複合利用システムを構成することによって、異なった事業体の参加が期待でき、これによって初期投資や運転コストの分散化を図ることができる。さらに、深層水の特性を異なった用途で使い尽くすことにより、深層水排水の低水温や残留栄養塩などが放流海域に与える環境影響を最小限にとどめることが可能となる。

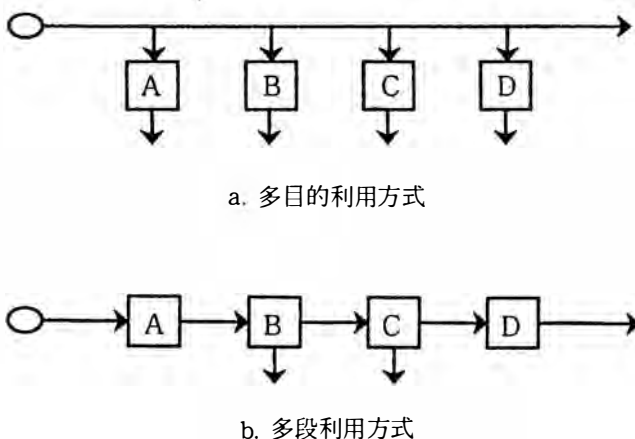


図-1 複合利用システムの構成要素

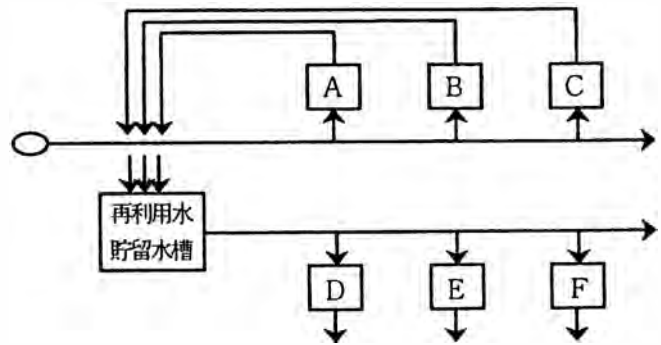


図-2 複合利用システム

(2) 複合利用システムの構成方法

複合利用システムの構成要素には、図-1に示すような多目的利用方式（並列利用方式）と、多段利用方式（直列利用方式）の形態が考えられる。

多目的利用方式（図-1a）は、複数の異なった用途で並列に深層水を利用する形態で、初期コストと運転コストの分散が可能となるが、取水コストの低減には寄与しない。また、各々が新しい深層水を使うことから水質面での問題は発生しない。

多段利用方式（図-1b）は、複数の用途で直列に深層水を利用する形態で、初期コストおよび運転コストの分散が可能となると共に、取水コストも低減化される。しかし、深層水を段階的に再利用するため下流ほど水質が不安定になり、用途の組合せに配慮が必要となる。

実際の深層水利用システムは、図-2に示すように、多目的利用方式と多段利用方式を組み合わせた形態で構成される。

3. 複合利用システムの設計

今回の検討では、深層水の取水量を $5,000\text{m}^3/\text{日}$ 、陸上における取水温度を 13°C と設定し、水産分野、バイオケミカル分野、農業分野を対象として複合利用システムを構成する。検討対象とする複合利用システムの基本構成を図-3に示す。

複合利用システムの基本的な考え方は、深層水の特性を多段利用によって有効に使い尽くそうとするものである。

取水された深層水は、最初に冷水性海産生物飼育へ供給し、低水温性と清浄性を利用する。次に、なお残されている低水温性を農業施設や事務所の空調、

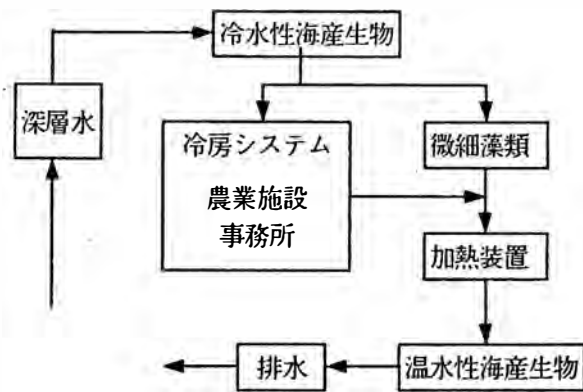


図-3 検討する複合利用システムの基本構成

微細藻類培養水の冷却などで利用することによって深層水を加温し、さらに、この深層水を加熱装置で加温して温水性海産生物の飼育水として再利用する。深層水の富栄養性については海藻栽培によって栄養塩の吸収を図り、系外へ与える影響を極力少なくした上で海域に排水する。

(1) 生産施設の設計

複合利用システムの生産要素としては、使用水温や事業採算性等の観点から、水産分野では冷水性魚類のベニザケ、温水性魚類のオコゼ、海藻としてワカメとアオサを対象として取り上げ、バイオケミカル分野ではEPA供給源としてのナンノクロロプシス、農業分野ではランおよびマイタケを取り上げた。

水産分野では、ベニザケの養殖→簡易ろ過→ワカメの養殖（冬期）³⁾→冷房利用による深層水の加温（夏期）→オコゼの養殖→簡易ろ過→アオサの養殖（夏期）³⁾という形で多段利用システムを構成する。

バイオケミカル分野では、屋外レースウェイ式培養槽を利用してナンノクロロプシスの流水培養を行

い、毎日1/4を収穫した後、その分の培養液を追加する半連続培養方式を想定した⁴⁾。深層水は培養液としても使用するが（日量150m³）、主に日中の培養液の水温上昇防止と、夜間に微細藻類の代謝抑制のために培養液を低温維持する冷却熱源として使用する。

農業分野では、ランの温室栽培を想定し、深層水は年2回の出荷を可能とする最適な栽培環境を実現するため開花室の冷房に利用する。マイタケ栽培では菌糸培養と子実体発生で栽培環境の条件が異なるため、深層水によってそれぞれの温湿度条件を制御する2室を備え、周年栽培を行なう想定とした⁵⁾。

各生産要素について、生産期間、水温条件と、これまでの実験によって得られた生産効率などの知見から生産量を設定し、生産に要する深層水の使用水量、設備や施設の容量・規模などを算定した。

この結果を表-1に示す。ここにおいて占有面積とは建屋と生産用施設を含めた面積である。この結果、システム構成要素全体の建屋面積は4,650m²、生産池面積は5,500m²となり、複合利用システム建設に必要な敷地は、建屋面積×2+生産池面積として、およそ15,000m²と見積った。

(2) エネルギー供給設備の設計

a) コ・ジェネレーションシステム

今回のシステム設計では、温水性の魚類生産に使用する深層水の加熱に何らかの加熱源が必要となる。

一般に深層水を加熱する方法としては、①表層水との熱交換あるいは混合による方法、②太陽熱エネルギーを利用する方法、③熱源機器による方法など

表-1 生産条件と生産施設の規模

	魚 類		海 藻 類		微細藻類	花 き	マ イ タ ケ		冷房
種類	ベニザケ	オコゼ	ワカメ	アオサ	ナンノクロロプシス	ラン	子実体	菌糸培養	事務所
生産期間	周年	周年	9~4月	6~8月	3~11月	周年	周年	周年	6~9月
使用水温	13-15℃	20-23℃	13-20℃	15-25℃	20-30℃	18-20℃	17-19℃	24-27℃	24-26℃
年生産量	15トン	10トン	30トン	16トン	6トン	44,000鉢	25トン		—
使用水量 [日]	5,000トン	5,000トン	5,000トン	4,850トン	培養 150トン 冷却 3,000トン	960トン 夏のみ	400トン 夏のみ	200トン 夏のみ	200トン 夏のみ
水槽容積	420m ³	420m ³	2400m ³		500m ³ ×6	—	—		—
占有面積	建屋 1,000m ²	建屋 1,000m ²	建屋 150m ²	培養池 2,400m ²	建屋 500m ²	培養池 3,000m ²	建屋 1,200m ²	建屋 200m ²	建屋 200m ²

が考えられる。しかし、①では、表層水の水温が所定温度以上でなければ加熱源として機能しないという季節的な制限があり、また、②では、昼夜あるいは雨期などの供給の不安定さ、不確実さなどの問題を抱えている。省エネルギーのために①あるいは②の方法を併用するにしても、年間を通して所定の水温を確実に得るためには、③のような何等かの機械的な加熱方法が不可欠となる。

機械的な加熱方法としては、従来はボイラーによる加熱が一般的な方法となっているが、近年トータルエネルギー利用の観点から注目されているコ・ジェネレーションの適用が手段として考えられる。コ・ジェネレーションはガスや石油を燃料として電気を発生させ、このとき同時に排出される熱を回収して利用しようとする技術であり、総合効率で80%程度が期待でき、ボイラーと比較して電力供給と熱供給を含めた総合的な性能の向上が期待される⁶⁾。

今回の設計では、複合利用システムを支える基盤的なエネルギー供給設備として250 kWの電力出力を有するコ・ジェネレーション設備を導入し、取水ポンプ、給水ポンプやブローなどのベース電力のほか、生産施設で使用する動力や照明用の電力なども含めて供給する想定とする。電力系統は既存の商用電力供給基盤設備との系統連係を行ない、電力の所内消費が少ないときは逆潮流で売電し、所内の電力供給が不足するときには商用電力系統から買電によって不足分をまかなう想定とする。

b) 冷房・冷却システム

今回の複合利用システムの設計において、事務所や生産施設に適用される深層水を利用した冷房は、熱交換器を介して深層水で2次側空調器の循環水を冷却する直接冷房方式で計画する。

本検討では深層水の取水温度が13℃で計画されているが、これは冷凍機を利用する現在一般的な対流による冷房方法の冷水供給温度(7℃)と比べてやや高い温度である。このため深層水を利用した冷房に現状の汎用2次側空調機器を使用するには設置台数の増加や機器の大型化(熱交換面積の増大)などの対応が必要となる。

しかし、深層水を利用した冷房に必要な動力は深

層水と2次側冷水の循環ポンプだけであり、機器の大型化による初期コストの増加を考慮しても、なお経済効率の高い冷房の実現が可能となる。

このように、深層水を利用した生産環境や生産プロセスにおける冷房・冷却技術は、生産環境の安定化を図ることによって生産効率を向上させると同時に、これに要する冷却用電気エネルギーを大幅に削減でき、さらには、加温された深層水が得られることから、複合利用システムにおいて、多段利用を実現する重要な要素技術として位置づけられる。

c) 熱回収

コ・ジェネレーション設備や補助ボイラーで加熱された温水性魚類の飼育水は20~23℃の水温となっており、このまま排水するのは大きな熱エネルギーの損失となる。この排水と、微細藻類冷却水として使用されたのち温水性魚類へ供給される深層水との間で熱回収を行なう。この結果、複合利用システム内で供給されたエネルギーは最大限回収されて有効利用されることになり、経済的で系外への排熱も少ない環境に配慮したシステム構成が可能になる。

(3) 複合利用システムの構成

各生産要素とエネルギー供給設備を組み合わせた複合利用システムの構成フローを図-4に示す。

深層水取水口から取水された深層水は、取水管に入り込んだ大型生物を除去するために設置されたストレーナを経由した後、およそ13℃でベニザケ水槽へ供給される。ベニザケ水槽から排出された深層水は簡易ろ過により残餌等を除去した後、冷房の必要がある時には事務所・花き栽培棟などへ冷房用熱源水として日量1,800 m³が送り出され、各々の用途に応じた温度レベルの冷房を行うことによって16℃~22℃程度に加温される。この深層水はバイパス経路に送られた深層水3,200 m³/日と合流して15℃程度の水温となる。冷房の需要が無いときは全量5,000 m³/日が、バイパス経路で後段に送られる。次に5,000 m³/日の深層水は2分されて、微細藻類培養池の冷却用に3,000 m³/日が、また、藻類培養水と温水性魚類であるオコゼ飼育用水として必要な温度まで加温するためコ・ジェネレーション設

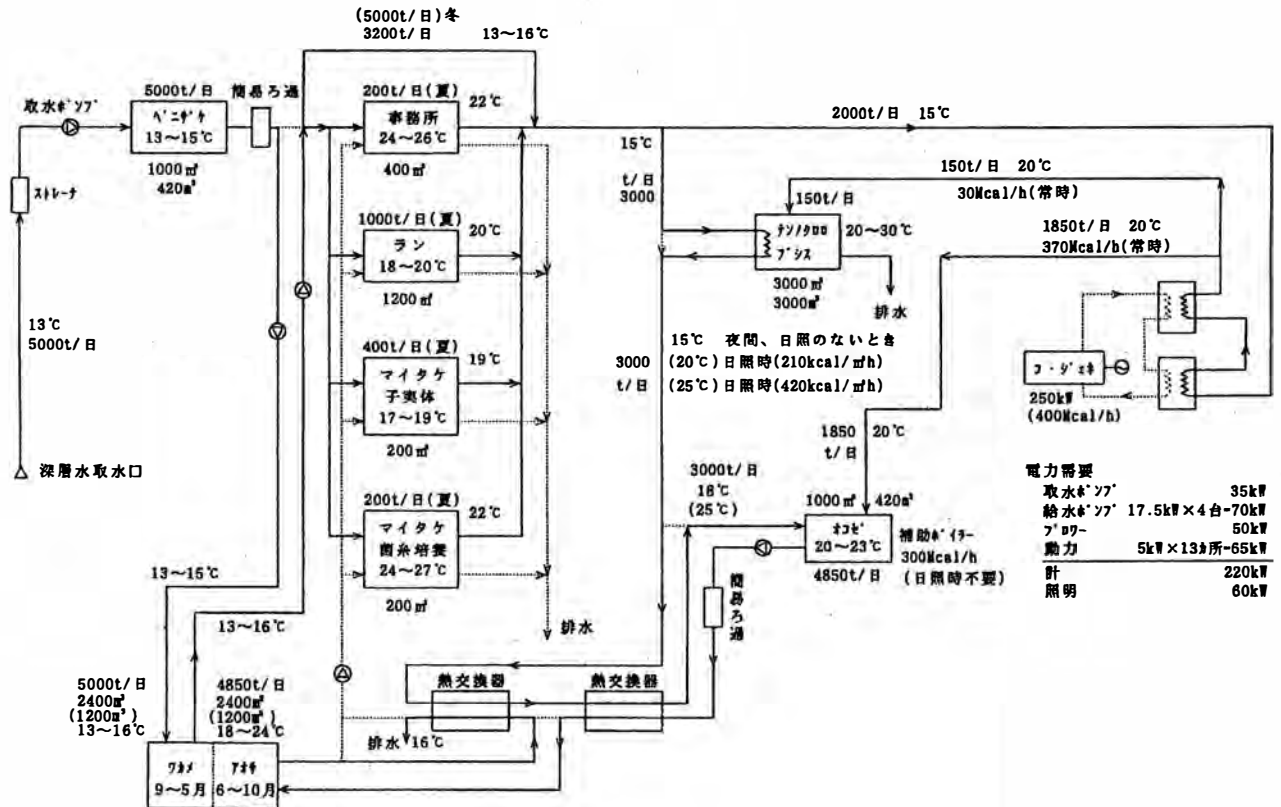


図-4 複合利用システムの構成フロー

備に $2,000\text{m}^3/\text{日}$ が送られる。コ・ジェネレーション設備において冷却水として使用される深層水は、 20°C 程度まで加熱されて、藻類培養水として $150\text{m}^3/\text{日}$ が、オコゼ飼育用水として $1,850\text{m}^3/\text{日}$ が供給される。 $150\text{m}^3/\text{日}$ の藻類培養水は製品回収後、残余分が系外へ排出される。藻類培養池の冷却用に回された深層水は必要量だけ藻類培養池の冷却に用いられ、残りはバイパスで後段へ向かう。この深層水は藻類培養池の冷却によりオコゼ飼育用水として十分な温度に加温されていればそのままオコゼ水槽に送られる。しかし、もし温度が低ければ海藻培養池からの排水とオコゼ水槽からの排水ラインに設けた2つの熱回収用熱交換器を通る経路で加温される。オコゼ水槽には微細藻類培養池の冷却用水 $3,000\text{m}^3/\text{日}$ とコ・ジェネレーションで加温された $1,850\text{m}^3/\text{日}$ の深層水が合流して供給される。また、藻類培養池の冷却水は日照の強度によって温度が変化し、曇天時や夜間には温度が低くなるためオコゼ水槽には補助ボイラーを設置する。一方、オコゼ水槽からの $20\sim 23^\circ\text{C}$ の排水は先に述べた微細藻類冷却用の深層水を加温することによって、それ自身は

冷却され 18℃程度になる。海藻栽培池にはオコゼ水槽からの排水である 4,850m³/日の深層水が供給される。海藻栽培池からの排水は微細藻類培養池の冷却に利用された深層水と熱交換することによって 16℃程度になって系外へ排出される。

4. 事業費の算出

表－１ や図－４ に示した海洋深層水複合利用システムについて建設費、運転費と生産施設の生産額を算出した。

(1) 建設費

a) 深層水取水裝置

取水装置の建設費は、取水深度＝300 m、取水管管長＝3,000 m、管直径＝300mm φ、管材質は硬質ポリエチレン、取水方式はポンプ揚水方式とする条件で見積った。建設費には、取水管敷設工事、地下ポンプ室躯体工事、ポンプ設備、電気設備を含んでいる。

b) 生産施設

各生産施設の建設コストには飼育水槽、生産設備

と建屋を含んでいる。建屋は鉄骨スレート造とし、空調・電気工事を含んでいる。

c) エネルギー設備

エネルギー設備の建設費には、コ・ジェネレーション設備（発電出力：250 kW）、補助ボイラー、熱交換器と、これらに関連する計装制御システムの建設費を含んでいる。

d) 共通基盤設備

共通基盤設備の建設費には、事務所、ろ過設備、エアレーション設備、受電設備、照明設備、機械室、倉庫、冷蔵庫、排水設備、計装システム、その他機材などを含んでいる。

(2) 運転費

a) 深層水取水装置

取水ポンプの電力は、コ・ジェネレーション設備から全量が供給されるとした。

b) 生産施設

生産に要する諸経費としては、生産経費、人件費を見積もった。なお、給水ポンプ、ブロー、動力、照明などの電力供給は、コジェネレーションによって全量賄う想定とした。

c) エネルギー設備

コジェネレーション設備の運転コストは燃料を LPG として、発電効率=30%、熱回収効率=55%とし、年間連続運転として見積もった。

補助ボイラーの運転コストは燃料を A 重油、稼働率を年間 50%として見積もった。

d) 保守費

複合利用システム全体のメンテナンス費とその他経費は合計で、建設費総額の 1%程度とした。

(3) 生産額

水産および微細藻類の生産額は、過去に各社が実施した深層水による生産実験から得た結果をもとに推定した。農業では深層水は栽培環境（温湿度）の制御に使用するため、生産性については既存の実施例を参考に推定した。

5. 事業性の検討

(1) 建設費

複合利用システムの建設費の総計を 100%としたときの、各設備の建設費の割合を表-2 にまとめる。

建設費の総計に対して、深層水取水管と生産施設の建設費が各々 40%強程度を占める結果となった。

(2) 事業収支の検討

事業収支の検討は、以下の 3 ケースを想定して行なった。各ケースの条件の違いは、深層水取水装置建設費の負担割合である。

ケースⅠ：土地の購入・造成は公共事業体が行い、深層水取水装置と生産設備の建設費用を民間事業体が 100%調達する場合。

ケースⅡ：ケース①の条件において、深層水取水装置の建設費に対して 1/2 の補助が成される場合。

ケースⅢ：ケース①の条件において、深層水取水装置の建設費に対して 100%の補助が成される場合。

各ケースにおける複合利用システムの事業収支は表-3 に示すように評価された。

表-3 において、減価償却費は、残存価額を取得価額の 10%とし、償却年数を深層水取水装置、生産施設、生産設備類、共通基盤設備とも 13 年として求めた。

また、初期建設費は全額借入金とすることとし、金利は 4%とした。金利額の返済は 15 年間の均等払いとした。事業収支は、利益額=生産額-経費合計とし、利益額/生産額で評価した。

表-2 複合利用システム建設費の割合

深層水取水管	43.3 %
生産施設	41.9 %
エネルギー設備	5.5 %
共通基盤設備	9.3 %
総計	100.0 %

表-3 事業収支の検討

項 目	ケースⅠ	ケースⅡ	ケースⅢ
減 価 償 却 費	28.1 %	24.0 %	19.2 %
借 入 金 金 利	11.4 %	9.7 %	7.8 %
生 産 経 費	25.7 %	28.1 %	31.0 %
人 件 費	16.5 %	18.1 %	20.0 %
動力・熱源運転費	13.3 %	14.5 %	16.0 %
メンテナンズ費	2.5 %	2.7 %	3.0 %
そ の 他 経 費	2.5 %	2.7 %	3.0 %
経 費 合 計	100.0 %	100.0 %	100.0 %
利 益 額 / 生 産 額	-9.3 %	0.1 %	9.4 %

表-3 において利益額/生産額の値を見ると、ケースⅠの場合には、この値が-9.3%となり、建設コストに占める取水装置の割合が高いため、現在の生産技術レベルで深層水利用技術を複合化し生産システムの採算性を向上させたとしても事業的に成立しない結果となった。

一方、ケースⅡの場合では、取水装置の建設費に対する1/2の補助により、この負担軽減分に相当する減価償却費と借入金金利が低下するが、事業的には損失が発生しないレベルの採算性しか有しない結果となった。

ケースⅢでは、取水装置の建設費に対する全額補助により、減価償却費と借入金金利の負担が低下し、事業として成立する可能性のあることが分かる。

5. おわりに

複合利用システムの事業性の検討結果から、深層水利用技術の事業化を進めて行くためには、先ず、取水装置建設費の低減を図ることは当然であるが、これと同時に、利用生産側においては現状以上に生

産性を向上させる要素技術の開発が必要であることが分かった。

今後は、さらに付加価値の高い生産物の効率的生産技術の開発や、深層水でなければ出来ない利用技術を開発していくことが重要となろう。

また、ハワイでホストパーク（HOSTpark）が整備されたように、国や自治体が地域振興や新産業創造の推進を意図した政策として、深層水取水装置の建設に対して補助制度を設けることも有効であることが理解された。

なお、本報告で示した複合利用システムについて、これを構成する要素技術は、技術的にすでに確立されたものばかりではなく、多くの点で開発課題が残されている。

特に、多段利用で使用する下流側の要求水質を満足する水質管理技術の開発が必要とされており、今後の技術開発での取り組みが期待される。

参考文献

- 1) 萩原運弘ほか：深層水複合利用システムに関する検討（共同研究内部資料），1993.6.
- 2) 海洋科学技術センター，クロレラ工業（株），清水建設（株），田崎真珠（株），日本水産（株），日本郵船（株）：共同研究深層水有効利用技術の実用化に関する研究・平成3年度研究成果報告会要旨集，平成4年.
- 3) 三浦昭雄編：食用藻類の栽培，水産学シリーズ88，恒星社厚生閣，平成4年.
- 4) Amos Richmond：HAND BOOK of MICROALGAL MASS CULTURE，CRC Press，1986.
- 5) 庄司当：マイタケ，特産シリーズ49，農村漁村文化協会，昭和57年.
- 6) 日本コージェネレーション研究会編：コージェネレーション計画マニュアル，日本コージェネレーション研究会，昭和63年.

（2000. 2. 29 受付）