

海洋深層水取水コストの低減と事業化の研究

Research on low cost pumping of deep seawater (DSW)
and its regional business promotion

迹目 英正¹・吉原 進²

Eisei NIGEME and Susumu YOSHIHARA

Abstract

Regional business promotion has been considered by means of resource utilization of deep seawater (DSW) in particular attention to the cost of pumping facility of DSW.

Existing pumping facilities of DSW have been examined their design, construction and cost. Although there is a large scale merit of the pumping facilities in the construction cost, important thing is to chose a suitable maximum size of pumping capacity based upon possible utilization demand of DSW in the area. A business model for regional promotion according to the business scale is proposed under the consideration of construction and running cost of pumping facility.

Choosing a suitable scale for each region, DSW could be used as a resource to support the regional economy.

Key Words: *deep seawater, low pumping cost, step by step development, business model, regional business promotion*

要 旨

海洋深層水を活用した民間主導の地域振興プロジェクトを可能ならしめるため、取水コスト低減に関し以下を検討した。

まず、既往取水施設の諸元を整理し、その設計・施工・コスト関連の研究動向をまとめた。次に、取水規模別に事業費と取水コストを算出し、そのスケールメリットを踏まえた上で、消費地近くの中・小規模取水施設の全国展開と、目的を特化した大規模取水の必要性を確認した。更に、取水形式別に工事費縮減の課題を整理した上で技術開発の方向を考察し、陸上型取水方式の工事費の縮減の個別課題を検討した。最後に、これら取水工事費の低減を考慮した事業化モデルを提案した。

海洋深層水事業は利用目的に応じた規模・段階整備・取水方式を選択することで、地域振興や環境保全など外部経済に貢献した上で、民間事業として採算性を確保することが可能である。

キーワード：海洋深層水、取水コスト低減、段階整備、事業化モデル、地域振興

1. はじめに

海洋深層水の付加価値を地域振興に活用しようとしても、「海洋深層水取水施設は10億～20億円」などといわれ（厳密な表現・値ではない）、国の助

成を得られない場合は断念せざるを得ない状況が続いていた。筆者らは鹿児島県下甕村海洋深層水プロジェクトに関わる機会を得たが、ここでは民間主体で事業を進め、簡易取水方式で低コスト化をはかり、海洋深層水を地域振興に活用している。

¹ほつま工房(株)・(株)ネレウス (〒228-0818 相模原市上鶴間本町3-18-27-602 E-mail: labo@hotsuma.jp)

²鹿児島大学工学部 (〒890-0065 鹿児島市郡元1-21-40 E-mail: susumu@oce.kagoshima-u.ac.jp)

表-1 既往洋上型取水施設

分類	竣工	取水地	管径 (φ, mm)	管長×深度 (L, m)	取水量 ()内は推定	取水管材質	目的
船上方式	2000.01	宮古市(三陸沖)	50	630	3 ¹ / ₂ t/時	ポリエチレン管	研究・商用
	2000.08	香住町(但馬沖)	50	270	2 ¹ / ₂ t/時	ポリエチレン管	研究・商用
		その他、「玄」さん(与論島)、本間組(佐渡)、小田原漁協、「アクアTAB」(網走)など、事例は多い					
ブイ方式	1989	「豊洋」 (富山湾氷見沖)	450	250	26,000t/日	鋼管	肥沃化実験
	1996	「海ヤカラ1号」 (沖縄糸満沖)	50	810	62 ¹ / ₂ t/分	塩ビ管・ポリエチレン管	研究・商用
			50	1,560	50 ¹ / ₂ t/分		
	1999	「海ヤカラ2000」 (沖縄糸満沖)	50	950	(60) ¹ / ₂ t/分	塩ビ管・ポリエチレン管	研究・商用
			50	2,000	(40) ¹ / ₂ t/分		
2003	「拓海」(相模湾)	1,000	205	100,000t/日	鋼管	肥沃化実験	
2004(?)	インド	880	1000	(132,000) t/日	鋼管	温度差発電	
		海洋温度差発電では、キューバ、ハワイなどで実験例がある。					

表-2 既往陸上型取水施設

	竣工	取水箇所	管径 (φ, mm)	管長 (L, m)	取水口 水深(m)	取水量 (t/日)	取水管材質	敷設法
国内	1981	ナノMOTEC	750	1,050	560	33,840	硬質PE(ポリエチレン)管、 PVC(塩化ビニール)管、鋼管	浮遊曳航法
	1982	徳之島OTEC	500	2,400	360	12,000	硬質PE管、鋼管	海底曳航法
	1986	高知県室戸市三津	125	2,650	320	460	鉄線鎧装硬質PE管	リールバージ法
	1991	富山県新湊市	450	1,500	100	17,200	硬質PE管+ゴムホース	海底曳航法
	1993	高知県室戸市三津	125	2,650	344	460	鉄線鎧装硬質PE管	リールバージ法
	1994	富山県滑川市	250	2,632	321	3,000	鉄線鎧装硬質PE管	リールバージ法
	1999	北海道羅臼町	50	1,400	218	58	PVCホース	浮遊曳航法
	1999	高知県室戸市高岡	270	3,125	370	4,000	鉄線鎧装硬質PE管	リールバージ法
	1999	沖縄県久米島	280	2,527	612	6,500×2	鉄線鎧装硬質PE管	リールバージ法
	2000	静岡県焼津市	200	3,323	397	2,000	鉄線鎧装硬質PE管	リールバージ法
	2000	静岡県焼津市	225	7,273	687	2,000	鉄線鎧装硬質PE管	リールバージ法
	2001	神奈川県三浦市 三浦DSW(株)	198	5,150	330	1,000	鋼帯鎧装硬質PE管	リールバージ法
	2001	富山県入善町	250	3,308	384	2,400	鉄線鎧装硬質PE管	リールバージ法
	2001	富山県滑川市	225	2,650	330	2,000	鉄線鎧装硬質PE管	リールバージ法
	2003	鹿児島県下甕村 こしき海洋深層水(株)	133	4,150	375	400	硬質PE管	浮遊曳航法
	2003	東京都伊豆大島 (株)アクアミレニア	125	1,800	500	500		海底曳航法
	2003	新潟県畑野町	215	3,663	315	1,200	ポリエチレンライニング鋼管	海底曳航法
	2003	北海道熊石町	270	4,400	343	3,500	鉄線鎧装硬質PE管	リールバージ法
	2003	北海道岩内町	268	7,700	300	3,000	硬質PE管	
	2004	石川県内浦町	75	3,700	350	100	鎧装硬質PE管	リールバージ法
2005	北海道羅臼町	280	2,817	350	4,560	鋼帯鎧装硬質PE管	リールバージ法	
		三重県尾鷲市	280	12,000	400	2,885		
国外	1972	コロンビア大学	75	1,803	870	360	硬質PE管	
	1981	ハワイNELHA	305	1,880	583	6,000	硬質PE管	浮遊曳航法
	~	ハワイNELHA	300~ 410	~1,800	~600	5,000~ 11,000	硬質PE管・PVC管	浮遊曳航法
	1987	ハワイNELHA	450	1,880	625	14,000	硬質PE管	浮遊曳航法
	1987	ハワイNELHA	1,000	1,920	674	72,000	硬質PE管	浮遊曳航法
	1989	ベルゲン大学	300		65	18,000	硬質PE管	
2001	ハワイNELHA	1,400	3,120	915	150,000	硬質PE管	浮遊曳航法	

*年度、管径、延長、水深、取水量などの数字では、資料により若干の違いがある。

ノルウェー、韓国の詳細は不明。取水量は出典(表-4)の掲載値であるが、実揚水能力と異なる可能性がある。

本稿は、更に取水コスト低減の検討を進め、海洋深層水を活用した地域活性化を提案するものである。

2. 海洋深層水の取水施設の設計・施工・コストの既往研究

2.1 既往取水施設の概要

表-1, 表-2に既往海洋深層水取水施設(事

表-3 取水形式別・工種項目別文献とその内容

取水形式	工種項目など	文献	内容	
洋上型	船上方式	分析	萩原(2000)	水質分析用(ニスキン採水器)
		試験取水	藤田(2000)	水質分析など(カナラインA50m×4本、ポンプ1.5kw→20ℓ/分)と概算工費
		小規模分水	石巻金華山沖深層水活用研究部会(2001)、大坂・佐田国(2002)	三陸沖での洋上取水に際し、計画・設計、取水(準備、洗浄、取水、回収、洗浄)の詳細
		中規模取水	山口・井上・平川他(2003)	商業取水
	ブイ方式	「豊洋」(富山湾水見沖)	山越・明田・前田他(1991)	研究課題、洋上型深層水利用装置の設計・計測結果の詳細、台風によるライザー管損傷の記録
		「海ヤカラ」(沖縄県糸満沖)	鈴木(1998)、藤井(1998,2000)、沖縄県海洋深層水開発協同組合(2001)	設計・施工・利活用試験結果の詳細
		「拓海」(相模湾三浦海上)	大内(2001,2003)、萩原・栗島・宮部他(2001)、小林・大江・和田他(2001)、米澤・森川・増田(2003)	海洋肥沃化装置浮体(台風対応型・没水型・密度流拡散装置・OTEなど)、ライザー管、係留等の設計・水槽実験等の詳細
	海上基地		大塚・坂東・井上(1998,2000)、大塚(2001,2001)、松本・大塚(2001,2003)、太田・殖松・井上・松本・大塚(2002)、板東・松本・大塚(2002)、松本・大塚(2002)、山口・井上・平川他(2003)	ブイとシャトル輸送の経済的可能性検討
		ライザー管	大塚・坂東・松本(1999,2000)、角湯(2000)、板東・松本大塚(2001)	ライザー管の振動特性と影響
	要素技術	エアリフトポンプ	浅枝(1990)、池田・浅枝・須賀(1994)、山本・田中・鷺尾他(2000)	気泡弾或いはエアリフトポンプによる取水の可能性
従来方式全般		萩原・森野(1992)、清水(1997,2000)、山口(1999)、当真・津波古・藤井・堀(1999)	高知、富山、沖縄などの事例に基づき、取水管の計画条件、埋管選定理由、その他設計・施工全般	
計画・設計・材質	簡易取水	伊藤(2000)	小規模簡易の検討、設計・施工	
	簡易取水	村田(2000)	富山県近畿大学水産研究所の事業の経緯、考え方と現況	
陸上型	ポンプ送水方式	田中・藤田(2001)、迹目・吉原(2002)	取水口或いは取水管途中からのポンプ送水のメリット	
	事例及び施工法	高知県室戸市、富山県滑川市、一般	山口・牧野・安部(1997)、石井・矢木橋・山口・高松(2000)、清水(2000)、山口・井上・平川他(2003)	事例に基づき、工事概要とリールバージ工法他、施工法の詳細
		沖縄県久米島	当真・津波古・藤井・堀(1999)、津波古・藤井・堀(2000)、当真・津波古・藤井・清水他(2000)	工事概要と施工(鉄線鍍装、鋼帯鍍装硬質ポリエチレン管、硬質ポリエチレン管区間と管防護工)の詳細
		北海道羅臼町	伊藤(2000)	事例に基づき、工事概要と施工の詳細
		富山県新湊市(近畿大学)	村田(2000)	工事概要と施工の詳細、電気代低減の方策
		静岡県焼津市	坂東・松本・大塚(2000)、大川・青木・望月・堀他(2000,2001)	工事概要と深層水、中層水、表層水(鋼帯鍍装硬質ポリエチレン管-レイバージ法)取水工事の詳細
		神奈川県三浦市	三浦(2001)、仙石・鈴木(2001)	工事と主要設備の概要
		富山県入善町	鍋谷・小堀・堀・以西他(2001)	工事概要とウォータージェット埋設、DPS敷設台船(アンカー併用)を用いた施工
		石川県内浦町	山岸(2002)	工事概要
		北海道熊石町	堀・田端・萬谷・福原他(2002)	工事概要とDPS敷設台船を用いた施工の詳細
		北海道岩内町	山中(2002)、佐藤・山中・二階堂・高崎(2003)	施工概要(硬質ポリエチレン管の継ぎ手(バット融着、EF融着)など)
		新潟県畑野町	新潟県畑野町(2003)	工事概要、取水管(鋼管内面エポキシ樹脂、外面ポリプロピレン他)仕様、施工(海底曳航法)の詳細
		鹿児島県下甌村	こしき海洋深層水(株)(2003)	工事と施工の詳細
		要素技術	鍍装管	山口・牧野・安部(1997)、石井・矢木橋・山口・安部(1999)、石井・矢木橋・山口・高松(2000)、山口・井上・平川他(2003)
	大口径管		(社)日本海洋開発産業協会(2001,2002a,b)、山本・田中・鷺尾他(2000)、源波・小野・津永他(2001)、源波・清水(2001)、青木(2002)	大口径管の製作・施工上の課題整理
	TUJ		西川(2003)	鋼管のユニバーサルジョイント
	ストレーナー		小谷口(1997)	海底から生物進入対策と影響
	流況		清水・堀・藤原・谷口(1998)、藤原・清水・豊田(2000)、豊田・清水・藤原(2002)、豊田・清水・藤原(2002)	取水管の粗度係数の経年変化はないこと
	キャビテーション		藤原・清水・堀・白枝(2003)	キャビテーションの発生と損失水頭
	その他	新しい取水方式の必要性	(社)海洋産業研究会(1997)、高橋・中原・大貫(1998)、中原(1999)、迹目・吉原(2002,2003)	新しい取水方式の必要性と可能性
使用可能量		大塚・坂東・松本(1999,2000)	地球環境保全上の取水可能量の推定	
多段利用によるコスト低減		森野・萩原・平田他(1999,2000)、豊田・中島・萩原・平田他(2000)	多段利用による取水コストのアロケーション	

業進捗中を含む)の諸元を整理した。当初のものは国の補助の下に実験・研究施設として建設されたもので、陸上型取水施設では数億~20億円が見込まれ、最近の民間の施設では1億強~数億円と推測できる。民間施設を含む最近の事例では取水量、取

水管材質などで多様化してきたのが分かる。

2.2 設計・施工・コストの既往研究

表-3は取水施設の設計・施工・コスト関連文献を取水形式と工種項目別に整理したものである。

表-4 取水規模別コストの算出

	取水量 ($\text{t}/\text{日}$ (回))	取水管 径 (mm)	工事費 (低) (高) (百万円)		金利+減価 償却 (低) (高) (万円)		運転費 (人件費) (万円/年)	運転費 (2倍) (回)	コスト (低) (高) (円/ト)		ポンプ2倍 取水 (低) (円/ト)
洋 上 型	0.005		—	—	4.0	6.0	7.5		23,000,000	27,000,000	
	1		—	—	4.5	6.5	7.5		120,000	140,000	
	5		—	—	7.0	12.0	7.5		29,000	39,000	
	10		—	—	7.0	12.0	9.0		16,000	21,000	
	50		—	—	10.0	18.0	10.5		4,100	5,700	
	100		—	—	14.0	24.0	12.0		2,600	3,600	
	400		—	—	20.0	35.0	13.5		838	1,213	
陸 上 型	15	39	123	546	655	2,912	58	88	1,303	5,425	798
	50	63	195	819	1,042	4,368	109	170	631	2,453	389
	100	83	253	996	1,350	5,312	158	253	413	1,499	257
	500	160	480	1,760	2,560	9,387	381	681	161	535	103
	1,000	210	620	2,100	3,304	11,200	568	1,078	106	322	69
	5,000	400	1,160	3,600	6,187	19,200	1,525	3,431	42	114	30
	10,000	530	1,511	4,240	8,056	22,613	2,413	5,875	29	69	21
	50,000	1,000	2,800	7,000	14,933	37,333	7,645	22,137	12	25	11
	100,000	1,320	3,630	7,920	19,360	42,240	13,047	40,251	9	15	9
	500,000	2,500	6,750	12,500	36,000	66,667	48,649	167,900	4.6	6.3	5.8
1,000,000	3,300	8,745	13,200	46,640	70,400	87,954	314,062	3.7	4.3	5.1	

研究用分水を兼ねた小規模な洋上型船上方式、商用取水や海洋肥沃化を目的とした洋上型ブイ方式、陸上型は小規模取水から大口徑・大量取水に至るまで、要素技術を含め、事例や設計・施工の考え方が報告されている。この中で本稿で検討すべき内容については第4章で取り上げた。

3. 海洋深層水の取水規模別コストの傾向と整備の方向

3.1 取水規模別コストの算出

取水規模別に、洋上型、陸上型取水施設の取水管管径、工事費（従来公開されている仕様と今回筆者らが提案する構成）、それぞれの年間費用（工事費の金利+施設の減価償却費）、年間ランニングコスト、及び年間取水量で除した取水コストの試算結果を表-4に示す。計算上の設定を以下に示す。

表中、取水量は、洋上型（船上取水）では1回当たり、陸上型では1日当たりを段階的に設定した。なお、洋上型ブイシャトル方式は現状ではタンカーのレンタル料が高く、試算から除外した。

取水管管径は、船上取水では取水時間との関係で一概に決まらない。陸上型の管路の流れはヘーゼン・ウィリアムスの式、ダルシー・ワイスパッハの式などの経験式で表現できる。ここでは取水管延長7

km、水深1,000m（理由は5.5節参照）、ポンプ揚水を前提に、ダルシー・ワイスパッハの式（ $Q = \sqrt{(\Delta h \times 128 \times \pi^2 \times g \times R^5) / (f \times L)}$ ）を用い（ここで、 Q ：流量 m^3/s 、 Δh ：損失水頭 m、 R ：径深 m、 f ：抵抗係数、 L ：管路延長 m である。詳細は水理学専門書（例えば、岸（1968）水理学演習(1)学献社）を参照されたい。各種損失水頭や抵抗係数は既往施設のデータから推定し、取水量ごとに管径を算出した。

工事費（低）は、後で述べる工事費の縮減を加味して取水施設全体を積算した。ただし、実績がなく、技術的課題が確認されていないものが含まれている。工事費（高）は、決められた取水管管径・延長で、取水施設全体を従来の工法で積算した。

金利+減価償却費（低）は先の工事費（低）に対し2%の金利と耐用年数を30年とし均等に償却した。船上取水では既往の簡便な施設を参考に取水規模別に装置と船舶の大きさを仮定して（船舶のレンタル費は比較的安いもので）1回当たりの取水経費を設定した。金利+減価償却費（高）は先の工事費（高）に対し2%の金利と耐用年数を30年とし均等に償却した。船上取水では既往の簡便な施設を参考に取水規模別に装置、船舶の大きさを仮定して（船舶のレンタル費は相対的には高いもので）1回当たりの取水経費を設定した。

運転費（人件費）は船上取水の場合、船舶のレンタル費は燃料と運転を含み、ここでは取水に関わる人件費を計上した。陸上取水の運転費には、取水に関する電気代とポンプ送水周りの維持管理費を取り上げ、ポンプ送水の事例（業務資料）から取水量が10倍で電気料は9倍増すと推定した。運転費用は取水施設の（高）、（低）にかかわらず、同じ程度になる。

運転費（2倍）は、後述5.1節のポンプ位置を下げ、海面との水頭差を利用し取水量を2倍にした場合のランニングコストである。電気代は4倍（揚程2倍×流量2倍）とし、ポンプ周りの経費増は取水量の1/2乗で増加すると仮定した。また、これらに伴う取水施設費の増は20%とし償却費に加算した。試算は施設費の（低）で行った。

コスト（低）は、（金利+減価償却費（低）+運転費（人件費））÷取水量で算出した。小口径の取水コストには工事費、耐用年数、取水量が大きく影響する。一方、大口径の取水コストは電気代等、取水量に比例する運用コストに収束する。なお、取水管材料など工法別のコストの違いは大きい。事例が少ない現状では将来を含めた比較は困難である。コスト（高）は、（金利+減価償却費（高）+運転費（人件費））÷取水量で算出した。

ポンプ2倍取水（低）はポンプ位置を下げ取水した場合のコストで、取水管の管径を上げたときと同じ程度のコスト低下になる。また、管径が小さいと効果的である。

3.2 取水規模別コストの特徴

海洋深層水の取水コストは使用目的により取水規模が定まり、更には使用設備と事業費が決まる。図-1は取水量と取水コストの関係を示したものである。これより、取水コストは大凡取水量に反比例し、スケールメリットの大きいことが分かる。ただし、事業化では大規模取水が有利というわけではない。特に初期投資額は経営に大きく影響し、需要に見合った取水量と取水方式の選択が重要になる（6節参照）。

試験分析など取水量が少ないとき（数リットル/回程度）は総経費を抑えられる洋上型船上方式が有

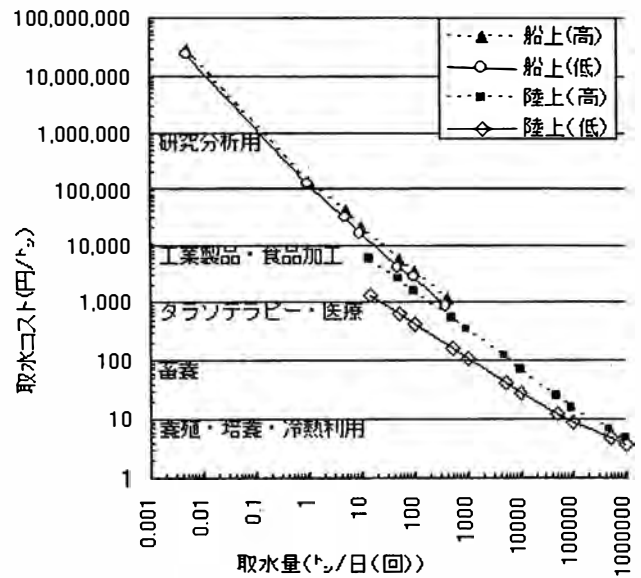


図-1 取水量と取水コストの関係

利であり、次いで利用研究などの分水も含める場合（数トン/回程度）は洋上型パイプ取水方式が、更に商業利用などで需要が増加（数十トン/日以上）、継続する場合は陸上型が経済的となる。

図中の用途別許容コストから、工業製品・食品加工では洋上型パイプ取水方式あるいは中・小規模の陸上型揚水方式が、タラソテラピー・医療では中・小規模陸上型揚水方式が可能で、海藻培養、養殖、冷房利用の場合は陸上型大口径（φ1,300以上）大量取水が前提となることが分かる（表-4参照）。

3.3 中・小規模取水施設の全国展開と大規模取水拠点の開発

取水コストはスケールメリットが大きい。取水した海洋深層水が付加価値を生まなければ大量取水、大量処理はコストの負担が大きくなる。また、需要者に配送するまでの総コストは現状では輸送が支配的になる。これから、民間による事業化も含め、地域の用途に応じた中・小規模取水施設を全国展開すること、大量取水は用途が確保できる立地条件に恵まれた拠点で展開することが重要となる。

4. 海洋深層水の取水形式別のコスト低減の方向

4.1 洋上型

洋上型は表-5に示すように、取水装置を装備した船上で所定の水深から取水する方式とブイ（海

表-5 洋上型取水方式

方式		装備	目的	事例	
A	船上	A1	バンドン採水器他	試験取水	多い
		A2	ホース取水（軽装備）	試験取水と商用	多い
		A3	ホース取水（専用設備）	商用	三陸（宮古）
B	ブイ（海上基地）	B1	ホース取水（ライザー管） シャトル輸送	研究と商用	糸満沖「海ヤカラ1号」 糸満沖「海ヤカラ2000」
		B2	ライザー管、密度流拡散装置、発電装置 シャトル輸送	海洋肥沃化実験 海洋肥沃化実験、研究用取水	富山湾「豊洋」 相模湾「拓海」

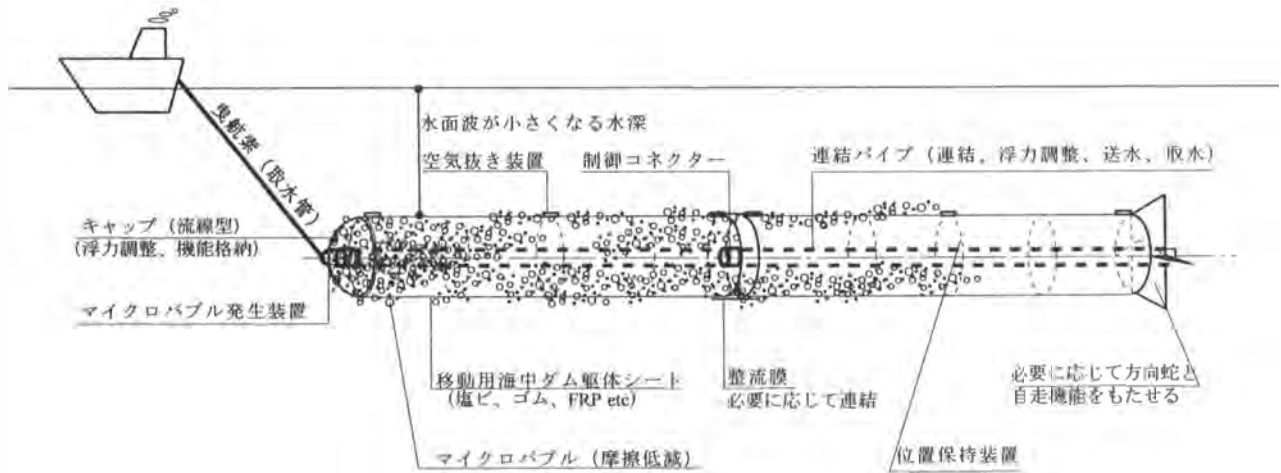


図-2 大規模シャトル輸送システム

上基地)に取水管を常設して取水し、船舶などでシャトル輸送する方式がある。

船上方式では、バンドン採水器などを用いる試験取水(A1)、若干の商用と研究用を含めた小規模取水(A2)、中規模の商用取水(A3)など、目的に応じた小・中規模取水システムが考案されている。本方式は初期投資費が相対的に小さく、需要に応じた取水量や取水深度の調整が可能、消費地に直接輸送することができるなど、事業の導入期に向いているが、天候などの影響を受けやすく不安定である。また、取水量が小さい分、人件費が占める割合が高く、取水コスト(取水規模、取水装置の減価償却費(回転数)、船舶のレンタル代、作業人件費による)が大きくなる。需要が増加した場合でも、次節で見るように取水管延長が工事費の支配的要件でなくなると陸上型の方が経済的となる(表-4、図-1参照)。

ブイ方式は、「海ヤカラ」のように常設の取水ホース(ライザー管)を装備することで、船上方式の取水管の上げ下ろし、清掃などを不要とし作業効率を高めるもの(B1)や、「豊洋(退避型)」や「拓海

(全天候型)」など海洋肥沃化を目的にする装置(B2)があり、輸送には船舶、タンカーが必要になる(ブイシャトル方式)。常設型は台風対策が重要になり、「海ヤカラ」や「豊洋」の経験を生かし柔構造の開発、実用化に向けたコスト縮減(躯体、運転費)が課題である。取水コストの大部分はシャトルタンカーのレンタル費になり、より低コストの輸送手段(参考;図-2大規模シャトル輸送システム)を開発できれば効果的である。また、従来の貯留施設では100m³規模で約800万円、1,000m³規模で約5,000万円と高額であるが、この低コスト化が課題となる。

4.2 陸上型

(1) 工事費の積算内容

工事費は、表-6に示すように、直接工事費、現場管理費、一般管理費に分類される。直接工事費は工種ごとの単価×数量で求まるもので、材料や工法など技術検討の対象となる。(ただし、材料や労務費の単価は「月刊建設物価」などが使われることが多いが、実勢価格ではないとの指摘がある)

表-6 小規模取水施設工事費の構成

項目	細目
直接工事費	取水管材料 (15~25%)
	付属設備材料(5%)
	管防護工 (10~15%)
	仮設・敷設費(20~35%)
	調査費 (15~20%)
現場管理費	ポンプ室 (15~20%)
	現場諸経費
	共通仮設費
	環境経費
一般管理費	天候不順など現場の不足事態の予備費(?)
	本社・支社経費
	営業経費
	研究開発費
	適正利潤
	超過確率的被害への対応(?)・協力経費

()は直接工事費内の構成比

現場管理費、一般管理費は直接工事費から工種・規模別に定められた比率で算定され全工事費への影響も大きい。公共事業の現在の契約・発注制度で経費率だけを変えることは問題が生ずることも予測され、本稿の主題と外れる。この際、不確定要素のリスクを施工業者に取らせるようなことは工事費の低減につながらない。

(2)工種の選択肢と工事費への影響

陸上型取水方式の工事費に主要な影響を与える工種(項目)には、表-7に示すように、揚水方式(A)、取水管材質(B)、取水管防護工法(C)、敷設工法(D)、調査費(E)などがあげられ、それぞれには表中の分類欄に示すような選択肢がある。すなわち、設計上は(A)~(E)個々の構成要素の組み合わせが考えられるが、従来の選択は建設地の海象や海洋深層水利用上の条件から、項目ごとにA1、B1、C1(又はC2)、D1、E1と高仕様の組み合わせが多い。

5. 海洋深層水の陸上型取水方式工事費低減の検討

5.1 揚水方式

(1)取水ピットの深さ

取水口からポンプまでの流れは、海面とポンプ位置の水頭差 $H_2 +$ ポンプの低圧分(大気圧との差) H_1 による。この水頭差を大きくすると流量を2~3倍にすることも可能で、取水管内流速や管強度の

検討も必要になるが小口径のとき効果的である。

すなわち、取水ピットを深くすることによる工事費の増大と、取水量増による取水管工事費の低減を比較する必要がある。

(2)取水ポンプ及び陸上部の配管

一般的に流量が一定のとき、ポンプから受水槽までの計画では参考図 最適口径(清水1997)に示されるような関係があるが、ここでは海中の取水管管径、ポンプ位置と低圧で増加する流量、全揚程を含めて陸上部ポンプシステムを計画し、取水量の増加とコストの低減を図る必要がある。

表-4の試算では小・中規模取水のとき、取水ピットを深くし、ポンプ能力を上げる方法が効果的であった。このとき、ポンプ出力はポンプ位置や低圧により増加する流量と、増加する全揚程に対応することになる。なお、表-7(A3)で示す方法は海底途中にポンプを設置するもので同様の効果がある。

5.2 取水管

取水管に求められる要件として、軸方向・周方向の必要な強度、耐久性、柔軟性、有害物を溶出しないこと、加工・施工のし易さなどに加え、価格が安いことがある。

表-8は取水管として考えられる材質の管径別単価である。元々、ポリエチレン管は加工の付加価値の小さい商品で、価格は管径・肉厚を問わず、重量で決まっていた。それに対し、鉄線鎧装、鋼帯鎧装することで数十倍、数倍の付加価値を持つことが分かる。

従来、鉄線鎧装硬質ポリエチレン管を選定する理由に、施工時に作用する軸力、施工後の「ブリッジ効果」と1点支持による管円周方向強度への対応が上げられている。

施工時の張力に対してはワイヤーロープによる補強など別途対策を講ずることも可能である。(ただし、ワイヤーロープはハンドリングや均等に張力を導入しにくく、海象条件が悪く急速施工の場合は注意を要する。)

施工後の「ブリッジ効果」では、ポリエチレン管

表-7 陸上取水方式の分類

項目	分類	事例	摘要	コストへの影響
A 揚水方式	A1	ポンプ揚水 (+水頭差)	高知はじめ全てが該当	既往方式
	A2	ポンプ揚水+水頭差	明確な事例なし	陸上部の配管とポンプ容量は掘込み深さによる流量増加も考慮して、取水コストの低減を図る必要がある。
	A3	海中ポンプ圧送 (+水頭差)	事例なし	細い管で大量取水も可能、空気だまりも問題がないが、維持管理の課題が残る。
B 取水管材質	B1	鉄線鍍装硬質ポリエチレン管	高知、富山、沖縄、焼津 (深層) 他	軸方向の強度大
	B2	鋼帯鍍装硬質ポリエチレン管	三浦、内浦、焼津 (表層)	内圧補強 (高压送水用)
	B3	ライニング鋼管	佐渡	強度大
	B4	硬質ポリエチレン管 PE100	下甌	水道管として標準的
	B5	硬質ポリエチレン管 (旧タイプ)	NELHA	主に農業用水に使用
	B6	軟質ポリエチレン管	事例なし	主に農業用水に使用
	B7	塩ビ管	(NELHA)	下水管として標準的
	B8	ゴム管	近畿大学 (新湊)	主に農業用水に使用
	B9	ビニールホース	羅臼、その他	主に農業用水に使用
C 管防護工	C1	トレンチ+埋め戻し (砂質土、コンクリー)	岩、泥質地盤で一般的	環境への影響を考慮する必要がある
	C2	ジェット埋設	差質地盤で一般的	同上
	C3	鋼管+コンクリートブロック防護	上記手法が取れないとき	同上
	C4	弧状推進	石油掘削、河川下などの送水管埋設	海洋環境に与える影響が少ない
	C5	退避方式 (防護しない)	事例なし	縦断が地形に依存する
D 敷設工	D1	リールバージ法	鍍装硬質ポリエチレン管で一般的	1~2万トンの級台船
	D2	海底曳航法	佐渡、アクアミレニア	鋼管、鋼帯ポリエチレン管
	D3	半浮遊曳航法		ポリエチレン管
	D4	浮遊曳航法	NELHA	ポリエチレン管、塩ビ管
E 調査	E1	ROV調査	標準仕様?	取水口の着地、周辺の確認
	E2	調査しない	事例はない	構造物の形態で対応、揚水して確認

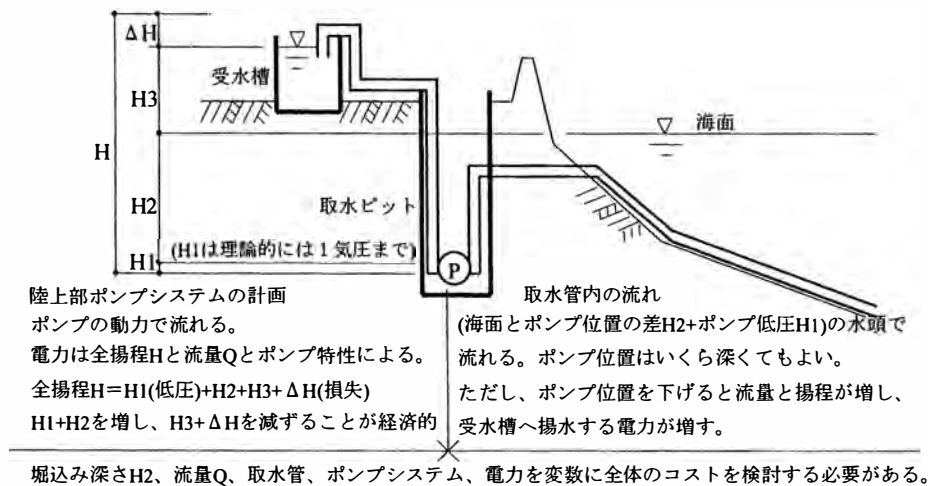
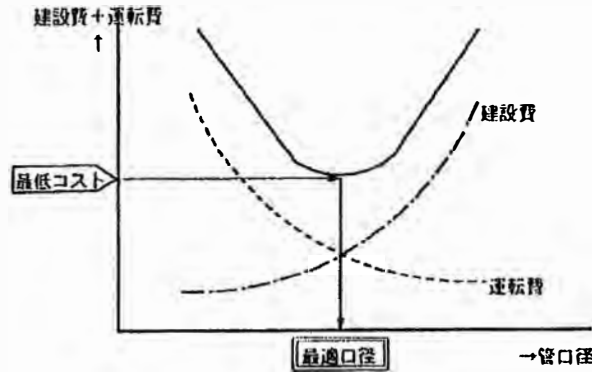


図-3 ポンプ位置と取水量、運転費の関係

に関しては軽量と可撓性が特徴で、海水中の浮力、管の柔軟性、海底地質・取水管線形のクリープなどが期待できる場合は問題にならない。

取水管材質の選択は、先ず、波浪や低層流の影響など設置後に必要な管強度を満足させ、管材の比重からウェイトが必要な場合、海象条件からコンクリートウェイトが可能か、鋼ウェイトにする必要がある

かを検討し、次に、施工時の軸方向強度が不足する場合は補強方法を検討するなどの手順が考えられる。NELHA や下甌での実績 (NELHA 2002, こしき海洋深層水(株) 2003) を踏まえ、取水管は今後更なる開発・検討の余地がある。



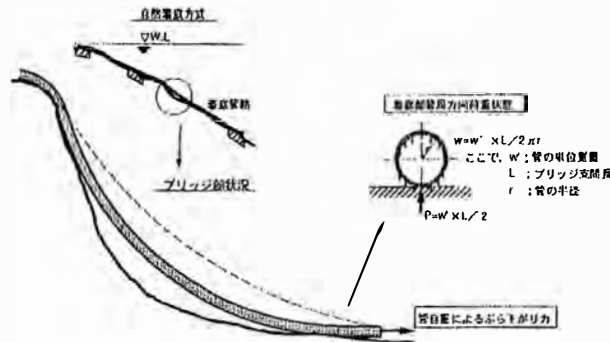
参考図 最適口径 (清水, 1997)

表-8 管種別・径別価格

管種	管径(mm)	50	100	150	200	250	300	400	600	800	1,000
鉄線鎧装硬質ポリエチレン管		26,000	34,500	53,000	76,000	92,000	*102,000				
鋼帯鎧装硬質ポリエチレン管		4,140	10,500	19,800	26,860	36,000					
硬質ポリエチレン管WE		1,010	2,450	4,980	8,900	16,000	19,800	26,000	64,600		
硬質ポリエチレン管PE100		958	3,240	5,586	9,380						
硬質ポリエチレン管JIS		477	963	1,730	3,130	4,458	6,005	11,098	24,970	44,390	69,358
軟質ポリエチレン管JIS		523	1,512	2,584							
軟質ポリエチレン管(リサイクル)		327	945	1,615							
塩ビ管		623	1,790	2,350	3,385	5,095	7,193	12,910			

注) 単価はそれぞれのメーカー資料

* 280 mm (ただし, 最大径は 320 mm)



参考図 管材料の所要強度面の主要検討点 (構造) 「ブリッジ効果」の状況 (清水, 1997)

5.3 敷設工, ROV 調査, 及び付属設備

敷設工は文献 (萩原運弘・森野仁夫 1997, 清水勝公 2000) 等に詳しく紹介され, 工期の短縮や高精度施工などで技術が進んでいることが分かる。しかし, 1 万トンクラスの特別仕様の台船によるリールバージ工法では工事費の縮減に限界がある。また, 敷設費は施工精度に大きく依存するため, 許容誤差を大きくとることが効果的である。次に, 取水口設置状況を確認するには ROV (remote operational vehicle) 調査で可能であるが, 揚水に支障が出ないよう, 所定の形態以外では着地しないように取水口の形状等を工夫して高価な ROV 調査を省略する

ことが可能である。取水口そのものも, たとえばポリエチレン管の曲者と直管で組み立て, 大型化と同時に耐久性と工事費の縮減が可能である。

5.4 波浪台風対策

(1) 管防護工

波浪による沿岸構造物の被災は従来からいわれている。図-4 は海底面までの水深ごとに, 微小振幅波を用いて, 波高が 15 m で周期が 5 秒から 20 秒の沖波による海底面における流速を示したものである。これは海底面に沿わせたパイプ周辺の流速に対応するもので, これからパイプに作用する流体力

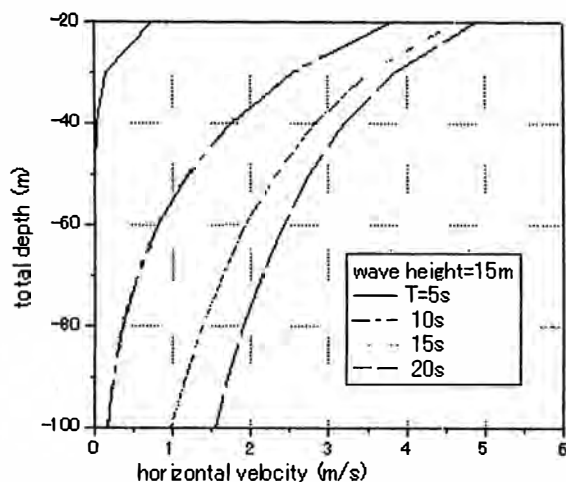


図-4 微小振幅波による海底面における流速

が算定できる。(ただし、波は地形の影響を受けて、回折や砕波が起こり波高や波長が変化するので、浅海域の海底における流速をそのまま示すものではない。)

管防護工は表-7の(C1)~(C3)など、既往の文献にも詳しい(例えば、萩原運弘・森野仁夫1992, 清水勝公2000)。サイトの地質、海象状況に先例を参考にすればよいが、環境負荷を小さくするには、工事費は割高になるが、弧状推進工法(C4)も選択の対象になり得る。

(2)退避型取水方式

1)退避型適応の留意点

日本近海に大波浪が発生するのは台風期と季節風の激しい冬季である。このうち台風に関して言えば、襲来する頻度期待値はそれほど大きな値とならない地域もあり、進路予測の精度は高い。海洋深層水の用途からの制約も考えられるが、冬季季節風の影響の小さい取水サイトでは、浅海部の管防護工を施さないで大波浪時には浅海部取水管を退避させる方式も選択肢の一つである(表-7(C5))。

ただし、本方式は、台風前後の退避・復旧作業などの運用と維持管理、不慮の場合は被災することも前提としており、工事費は安くなるが、既往方式より優れていることを主張しているわけではない。これは取水地や利用の条件により、選択肢になりうることで、取水方式の多様化の提案である。当然、退避期間中は取水できず稼働率に影響を与えることにな

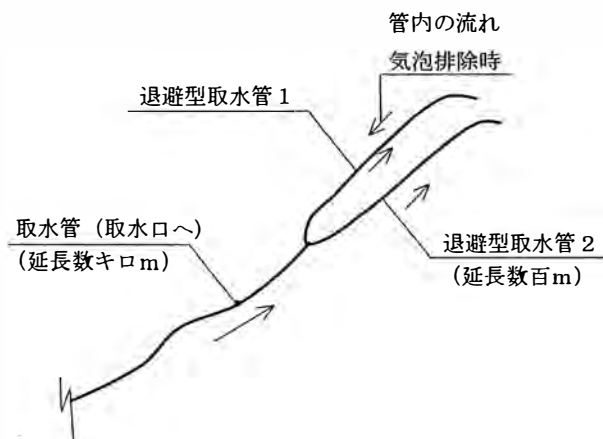


図-5 退避型簡易取水方式-浅海部二又配管

るので、台風来襲頻度や冬季の大波浪発生頻度の推定のみならず、どの段階でどの程度の水深の海底に退避するか、どの段階で復帰するかは慎重に設定されねばならない。そのためには図-4のような海底面における流速の推定が重要になり、事前に海底地形の精査によって回折や砕波による波高や波長の変化を推測しておく必要がある。実現のための工夫として、既設サイトとの連携や異なる海域サイトでの連携取水などが考えられる。

2)空気だまり対策

圧力が高い深海では溶存していた気体が浅海域で気体化し、海底に凹凸があると管路の凸部に空気がたまり、地上ではポンプ取水ができなくなる。

この対策として従来は取水管の縦断勾配を一定にしていたが、退避型の場合、浅海域の地形に依存せざるを得ないため取水効率が極端に落ちていた(羅臼の簡易取水のヒアリングから)。

様々の工夫があり得るが、図-5の二又聴診器式配管が考えられる。海底縦断勾配は通常大陸棚までは緩やかでその縁端から急勾配になる。すなわち、大陸棚縁端に二又を置き、ここから浅海域では2本の取水管を配する。大陸棚外縁は急勾配で気泡は上昇する。浅海域で取水管に気泡が詰まり揚水が出来なくなったとき、片方は揚水(吸水)し片方から送水することで溜まっていた気泡を排除する。このとき、陸上側から送水された深層水はもう片方の浅海域取水管と海底方向に続く取水管に流れうるが、管の抵抗差によりほとんどが浅海域取水管に流れる

表-9 取水装置概算工事費の比較

(千円)

工種	項目	細目	鎧装ポリエチレン			硬質ポリエチレン			備考
			単価	数量	金額	単価	数量	金額	
直接 工事費	取水管	材料	34.5	7,000	241,500	2.5	7,000	17,150	
		継手1	—	—	—	8	8	62	
		継手2	4,800	2	9,600	300	2	600	端部
		ウェイト	—	—	—	15	325	4,875	
		取水口	5,000	1	5,000	2,000	1	2,000	
		小計			256,100			24,687	
	敷設工	ROV	30,000	1	30,000	30,000	1	30,000	
		接続工	—	—	—	20	8	160	
		敷設工	45	7,000	315,000	2	7,000	14,000	
		仮設費	—	—	敷設に含む	20,000	1	20,000	台船、機材他
		防護工	80,000	1	80,000	80,000	1	80,000	弧状推進500m
	小計			425,000			144,160		
	計			681,100			168,847		
	諸経費			35%	238,385			35%	59,097
総計				919,485				227,944	
比				1.00				0.25	

取水施設として上記以外に取水ビット、ポンプ施設、受水槽などが必要。各案に共通するので省略。

ことになる。これにより、比較的容易に取水効率を回復することができる。

5.5 取水施設工事費の縮減と効果

(1) 工事費の縮減

表-9は、取水管材料に鉄線鎧装ポリエチレン管（従来工法、表-7でA1, B1, C1, D1, E1）と設計・施工上の諸条件（耐用年数、海域の静穏度、船舶稼働率、海底地形の急峻度など）が成立する場合に限定した硬質ポリエチレン管（表-7でA1, B4, C1, D4, E1）について、概算工事費（取水管、敷設工）を比較したもので、総計でそれぞれ、9.2, 2.3億円となる。

ここでは硬質ポリエチレン管の場合も、防護工に弧状推進工法を、取水口確認にはROV調査を想定しておりその割合が大きい。また、取水ビット掘り下げなどによる取水量の増加（取水管口径の低減）の効果も実績がないことから除外している。なお、以上の比較だけでなく、設計耐用年数の設定に両案が十分対応できているか客観的な評価や実績とデータの積重ねが必要となる。

(2) 取水施設工事費縮減の効果

海洋深層水を薩摩揚げに使うと高知と富山のものでは味が異なるという話がある。海洋深層水の特性

として清浄性、富栄養性、低温性などがいわれているが、取水地による違い、取水深度による違い、同じ取水ポイントでも採取日による違い（湧昇は変動し、表層との混合を進める）などは詳しく問われることはなかった。日本近海の海洋深層水はいわゆる海洋大循環に基づくもの、北太平洋中層水循環、日本海固有水、オホーツク固有水など多様である。また、取水深度は資源利用の観点から海洋深層水は補償深度約200m以下と定義（中島2002）されているが、図-6の北太平洋の栄養塩の鉛直分布は1,000m前後まで増加し、溶存酸素量は1,000m過ぎに最小値になる。この図から表層、中層、深層間は混合しにくいこと（ただし、表層内は混合しやすい）と同時に長期間では混合していることが分かる。これは、栄養塩のみならず、清浄性、熟成性など他の特性を活用する場合や商品の品質管理からも十分考慮する必要がある。

取水管の工事費が低下し制約条件でなくなりさえすれば、一定の起源を持ち、水質の安定した1,000m以深の深層水を事業ベースで取水することも可能となる。

海洋深層水の取水箇所が少なく、払い下げの海洋深層水しかないときは水質を選択することはできなかったが、工事費の縮減の工夫により、取水管延長が海洋深層水事業の支配的条件でなくなり、取水地

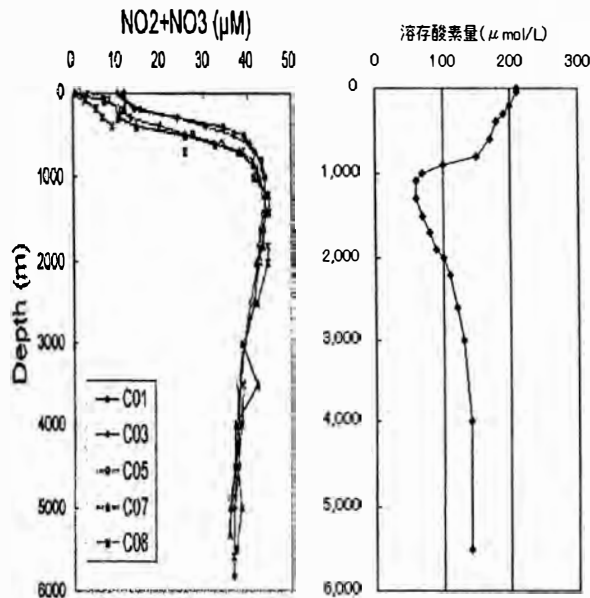


図-6 北太平洋における栄養塩、溶存酸素量の鉛直分布 (東京大学海洋研究所 2003)

が全国的に展開し、大深度海洋深層水が取水でき、同じ取水地でも取水ポイントが多様化することが期待される。

6. 海洋深層水の利活用の事業化モデル

民間の事業化では収支に影響の大きい、需要に見合った取水設備にすること (取水量を分母にしたコストではない)、最新の技術成果を享受すること (将来の技術開発も含め)、需要変動に柔軟に対応できること (機動性、柔軟性) などが重要になる。

6.1 用途別需要

海洋深層水の使用量は使用目的により大きく異なる (表-10)。すなわち、養殖の実験は数トン/日でも可能であるが、これを事業化し採算をとるとなると1万トン/日以上、かつ低コストが条件となる (実験段階の取水方式の延長では採算はとれない)。非水産分野の活用は1企業1回当たり数十リットル/件と極めて少量で、全てを足しても100トン/日程度 (初期) であり、コスト負担も期待できる。

これらより、取水規模は事業性からは100トン/日程度か、数万トン/日以上を選択になり、各用途とも将来の需要は不透明で不用な投資を抑え、需要の推移に対応した段階的な整備が望ましいことが分

表-10 海洋深層水の用途別需要

分野	細目	需要量*	備考
水産	養殖実験	数トン/日~	
	養殖事業	10,000トン/日~	低コスト
	洗浄	数トン/日~	
	氷	数トン/日~	
農業		数トン/日~	
畜産		数トン/日~	数十リットル/件
食品加工		数トン/日~	数十リットル/件
工業製品		数トン/日~	数十リットル/件
飲料水		数十トン/日~	
タラソテラピー		数十トン/日~	

* 初期の、取水箇所近傍の需要を対象にして

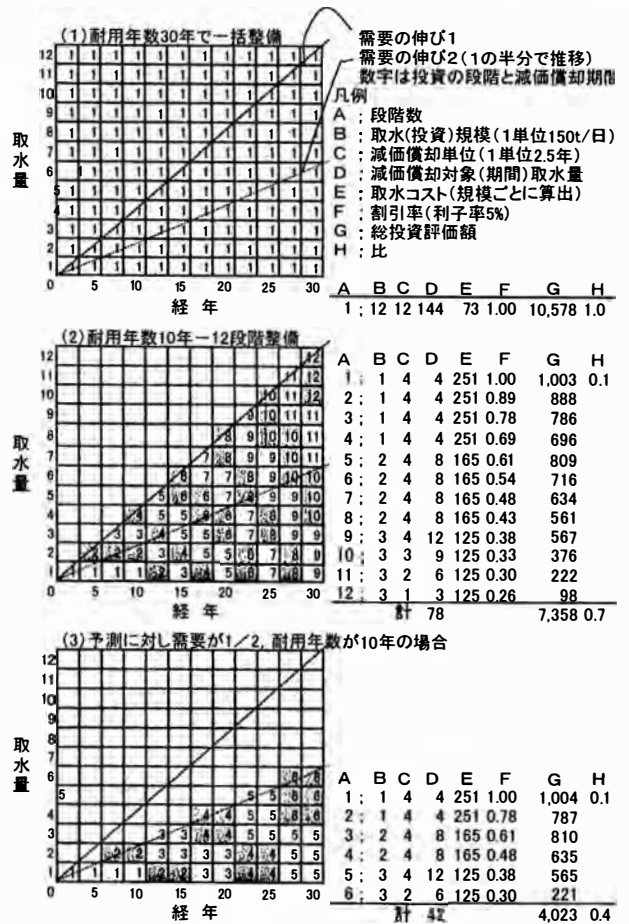


図-7 段階整備の効果

かる。

6.2 段階整備

民間経営の場合、需要に見合った小規模取水からスタートすることは必然で、図-7に将来 (30年後) 取水量を1,800 t/日と仮定し、一括整備と150 t/日からの2.5年単位12段階整備の違いを示す。

同じ工法 (耐用30年) で段階整備することは需要の変化には対応できるがスケールメリットを生か

表-11 施設内容と概算工事費（取水量160 m³/日）

工種	項目	細目	単価 (千円)	数量	金額 (千円)	備考	
直接 工事費	取水管	材料	2.5	7,000	17,150	硬質ポリエチレンφ100、7km	
		付属品	7,537	1	7,537	取水口他	
		小計				24,687	
	敷設工	敷設工	64,160	1	64,160	ROV調査含む	
		防護工	80,000	1	80,000	弧状推進500m	
		小計				144,160	
	ポンプ室他	躯体他	15,000	1	15,000		
		電気設備	10,000	1	10,000		
		受貯水槽	10,000	1	10,000	配管含む	
	小計				35,000		
	計					203,847	
	活用 設備	上屋			一式	65,000	150m ²
		飲料水製造	RO逆浸透装置		一式	10,000	20 t / 日
			EDR装置		一式	10,000	2 t / 日
		殺菌装置			一式	10,000	
ペットボトル充填機				一式	20,000	洗浄、充填、キャップ	
梱包・搬出装置				一式	20,000		
計						135,000	
福祉施設（タラソテラピー）			一式	60,000	露天風呂・ミストサウナ		
計					195,000		
合計					398,847		
現場管理費	20%			一式	79,769	調査設計含む	
一般管理費	15%			一式	71,793	計画含む	
総計					550,000		

せない。しかし、耐用年数が1/3（10年）でも工事費が1/3に低減できる場合は効果的で、以下に示すように将来の技術開発の享受も含め、経営面、環境負荷面、安全面などから重要な選択肢になる。

- ①段階整備は需要に対応しながらも小さな初期投資（一括建設の約10%）で始められ、総経費も低減（一括建設の70%）する。
- ②需要予測に対するリスクを低減できる。（需要が半分で推移した場合一括建設の40%）
- ③一括整備の場合、約半分（図-7(1)で着色部の半分）が過剰能力になるが段階整備の場合、不用な設備投資はほとんど抑えることができる。
- ④施設のリスクを分散できる。

6.3 事業モデル

表-11にモデル事業と工事費を提示した。従来への慣例に従い、浅海域の環境保全を含め防護工に弧状推進を採用し、取水口の確認にはROV調査を用いているが、状況により更に工事費の縮減や取水量の増加も可能である。

また、清涼飲料水の製造能力は20トン/日程度とし、脱塩装置やペットボトル充填機などを装備した。地域の福祉には深層水の露天風呂とミストサウナを提供できる。

（注；①工事費の縮減が必要なのは取水施設だけではない。②この他にも深層水の付加価値を期待できる（利益が上がる）ものが色々報告されており増設の対象とした。）

結果、約5.5億円の整備費になり、更に開業費等を加えると総額7億円程度になる。取水量160トン/日のうち、約60トン/日を脱塩に使い、飲料水20トン/日を販売することで投資を回収する。残り100トン/日の原水と40トン/日の濃縮水は海洋深層水風呂や地域の商品開発などに低コストで供給することができる。

海洋深層水を活用した商品は既に1,000種類を超える。海洋深層水飲料水のように価格面からその機能性（海洋深層水は今後の水質悪化ないし水量不足へのバッファとしての役割もある）が生かし切れていないものもあるが、図-8に示す富山県の



図-8 深層水を用いた豆乳(左)と従来の豆乳, 口当たりが明らかに違う。(入善町田中豆腐店提供)

海洋深層水豆乳のようにこれまでにない高付加価値食品や海洋深層水ミストサウナのような意外な効用など, その付加価値と前途は広く大きい。

海洋深層水事業は取水コスト低減を踏まえ, 民間主導による創意工夫の段階に入っていかなばならない。

謝 辞

本研究に当たり, 個別に名前を挙げる余裕はないが, 多くの取水地自治体から内部資料やホームページ, 更に関係者から直接ご協力頂いた。海洋深層水の活用法では富山, 高知の関係者から貴重な体験をお話し頂けた。取水管, ポンプ, 脱塩, ボトリング, 輸送装置等のメーカー, 建設会社からは内部資料やアドバイスを頂いた。情報・資料収集整理に当たっては, 鹿児島県下甕村, こしき海洋深層水(株)の関係者, (社)海洋産業研究会の大貫麻子氏, 食品研究社の山田由紀子氏に格別のご協力を頂いた。記して感謝申し上げる次第である。

文 献

- 青木俊征 (2002): 大水深における大口径取水管の開発について. 海洋深層水 2002 久米島大会講演要旨集, 40-41
- 浅枝隆 (1990): 気泡弾を用いた高密度の深層水揚水施設の研究について. 埼玉大学工学部建設系研究報告 第 20 巻, 111-132
- 坂東晃功・松本吉倫・大塚耕司 (2000): 海洋深層水取水管の挙動解析に関する研究. 海洋深層水 2000 神戸大会講演要旨集, 1-2

- 坂東晃功・松本吉倫・大塚耕司 (2001): 海洋深層水取水管の動的挙動解析. 海深研 1, 29-38
- 坂東晃功・松本吉倫・大塚耕司 (2002): 海洋深層水大規模取水一分配システムの研究フィージビリティスタディー第二報ケーススタディー. 海洋深層水 2002 久米島大会講演要旨集, 42-43
- 藤井宏一郎 (1998): 洋上設置型海洋深層水取水試験装置の設置について. 海洋深層水 '98 高知大会講演要旨集, 8-10
- 藤井宏一郎 (2000): 海洋深層水の洋上設置型取水装置. 月刊海洋号外 No. 22, 24-31
- 藤田大介 (2000): 船舶とソフトパイプの利用による海洋深層水の洋上簡易連続取水. 月刊海洋号外 No. 22, 16-19
- 藤原龍雄・清水勝公・豊田孝義 (2000): 学会発表深層水取水管の流速係数. 高知県海洋深層水研究所報第 4 号, 95-97
- 藤原龍雄・清水勝公・堀鉄郎・白枝哲次 (2003): 水中の溶存ガス計測によるキャビテーション対策. 海洋深層水 2003 焼津大会講演要旨集, 28-29
- 源波修一郎・小野隆・津永正行・他 (2001): 鍍装硬質ポリエチレン管の開発. 海洋深層水 2001 小田原大会講演要旨集, 7-8
- 源波修一郎・清水勝公 (2001): 大深度・大口径取水管の敷設技術の開発. 海洋深層水 2001 小田原大会講演要旨集, 13-15
- 岸力 (1968): 2.6 節 管路の摩擦抵抗則. 水理学演習(1). 学献社, 301 頁
- 萩原運弘・森野仁夫 (1992): 海洋深層水の有効利用技術に関する研究その 1 - 海洋深層水取水装置の開発と基本特性の調査 -. 清水建設研究報告 (通号 55), 99-109
- 萩原快次 (2000): 採水器による海洋深層水の洋上簡易大量取水の一例. 月刊海洋号外 No. 22, 12-15
- 堀哲郎・田端秀哉・萬谷俊美・福原光一・他 (2002): 熊石海洋深層水取水施設の建設. 海洋深層水 2002 久米島大会講演要旨集, 32-34
- 池田裕一・浅枝隆・須賀克三 (1994): 気泡弾を用いた深層水揚水施設による密度成層の混合効率. 土木学会論文集 (通号 485), 85-93
- 石井健一・矢木橋清智・山口卓見・安部智 (1999): 大水深用深層水取水管の開発. 海洋深層水 '99 佐賀大会講演要旨集, 16-17
- 石井健一・矢木橋清智・山口卓見・高松研 (2000): 大水深用深層水取水管の開発. 海深研 1, 71-77
- 石巻 (地域産学官グループ交流会) 金華山沖深層水活用研究部会 (2001): 石巻地域海洋深層水利活用研究活動報告書, 11-13
- 伊藤聡 (2000): 海洋深層水の陸上への簡易取水. 月刊海洋号外 No. 22, 20-23
- 小林英一・大江清登・和田洋二郎他 (2001): 深層水活

- 用型海洋肥沃化装置の動揺性能に関する実験的研究.
日本造船学会論文集, 201-210
- 角湯正剛 (2000): エネルギー使用合理化海洋資源活用システム開発-JOIA 研究成果報告会-平成 11 年度報告書概要一. 社団法人日本海洋開発産業協会
- こしき海洋深層水(株) (2003): 下甕海洋深層水取水施設設置プロジェクト業務資料, 8 頁
- 小谷口正樹 (1997): 深層水取水施設の管理上の問題点-とくに取水口から迷入する生物について. 海洋深層水 '97 富山シンポジウム講演記録集, 66-68
- 松本吉倫・大塚耕司 (2001): 海洋深層水大規模取水-分配システムのフィージビリティスタディ. 海洋深層水 2001 小田原大会講演要旨集, 19-20
- 三浦久 (2001): 三浦沖海洋深層水の取水管敷設工事. 海洋深層水 2001 小田原大会講演要旨集, 3
- 森野仁夫・萩原運弘・平田龍善・他 (2000): 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. 海深研 1, 55-60
- 村田修 (2000): 近畿大学水産研究所富山実験場における水深 100 m 層海水の利用. 月刊海洋号外 No. 22, 204-208
- 鍋谷良和・小堀勇・堀哲郎・以西喜隆他 (2001): 入善海洋深層水取水施設の建設. 海洋深層水 2001 小田原大会講演要旨集, 16-18
- 中原裕幸 (1999): 解説海洋深層水利用技術の現状と将来 (海洋利用技術小特集). 日本船用機関学会誌 34 (III) (通号 386), 1-6
- 中島敏光 (2002): 第 4 章海洋深層水とは. -21 世紀の循環型資源-海洋深層水の利用. 緑書房, 263 頁
- NELHA (2002): Annual Report 2000-2001, 67 頁
- 迹目英正・吉原進 (2002): 海洋深層水簡易取水方式と事業化の研究, 海洋深層水 2002 久米島大会講演要旨集, 36-37
- 迹目英正・吉原進 (2003): 海洋深層水簡易取水方式と事業化の研究 (その 2)-地域振興策としての課題整理-. 海洋深層水 2003 焼津大会講演要旨集, 32-33
- (株)日本海洋開発産業協会 (2001): 平成 11 年度「エネルギー使用合理化海洋資源活用システム開発-モデル実証研究成果報告書 [I], 26 頁
- (株)日本海洋開発産業協会 (2002a): エネルギー使用合理化「海洋資源活用システム開発」中間評価報告書, 224 頁
- (株)日本海洋開発産業協会 (2002b): 平成 13 年度「エネルギー使用合理化海洋資源活用システム開発-モデル実証研究および基盤研究-要約成果報告書, 43 頁
- (株)海洋産業研究会 (1997): 深層水の新しい取水方式に関する予備的研究. 海洋深層水 '97 富山シンポジウム講演記録集, 58-61
- 新潟県畑野町 (2003): 佐渡海洋深層水取水施設建設工事概要. 海洋深層水利用研究会 NAVI9 資料
- 西川正夫 (2003): 新形式継ぎ手を用いた新しい深層水取水工法 (TUJ 取水法式) の開発. 海深研 4, 39-45
- 萩原誠功・粟島裕治・宮部宏彰他 (2001): 海洋肥沃化装置の概念設計 (船舶海洋小特集号). 石川島播磨技報 41(6) (通号 242), 263-268
- 沖縄県海洋深層水開発協同組合 (2001): 日本財団助成事業平成 12 年度研究成果報告書. 洋上設置型海洋深層水取水装置による海洋深層水の調査研究, 286 頁
- 大川五朗・望月秀雄・矢崎順一・堀哲郎他 (2000): 駿河湾深層水取水管敷設. 海洋深層水 2000 神戸大会講演要旨集, 5
- 大川五郎・青木一永・望月秀雄・堀哲郎他 (2001): 駿河湾海洋深層水の取水管の敷設. 海深研 2, 87-93
- 大坂文人・佐田国健治 (2002): 船上搭載型深層水取水装置による三陸沖海洋深層水の取水について. 海深研 3, 1-5
- 太田裕紀子・殖松季栄・井上紳太郎・松本吉倫・大塚耕司 (2002): 海洋深層水大規模取水-分配システムのフィージビリティスタディ (第 1 報) -経済性評価-. 海深研 3, 21-30
- 大塚耕司 (2001): 洋上-陸上ハイブリット型海洋深層水供給システムの経済性評価. 海洋開発ニュース 29 巻 3 2001 年 5 月号. (株)日本海洋開発産業協会
- 大塚耕司・坂東晃功・井上久嗣 (1998): 洋上型深層水取水装置の検討. 海洋深層水 '98 高知大会講演要旨集, 1-2
- 大塚耕司・坂東晃功・松本吉倫 (1999): 海洋深層水の使用可能量および価格に関する一考察. 海洋深層水 '99 佐賀大会講演要旨集, 18-19
- 大塚耕司・坂東晃功・松本吉倫 (2000): 海洋深層水の使用可能量および価格に関する一考察. 海深研 1, 47-53
- 大塚耕司・松本吉倫 (2003): 海洋深層水大規模取水-分配システムのフィージビリティスタディ (第 2 報). 海洋深層水研究第 4 巻第 1 号, 19-27
- 大塚耕司・坂東晃功・松本吉倫 (2000): 海洋深層水取水管の挙動に及ぼす管内流の影響. 関西造船協会誌 234, 287-292
- 大内一之 (2001): 海洋肥沃化装置の基本設計. 海洋深層水 2001 小田原大会講演要旨集, 5-6
- 大内一之 (2003): 海洋肥沃化装置「拓海」の運用開始について. 海洋深層水 2003 焼津大会講演要旨集, 23-24
- 佐藤達・山中新・二階堂直樹・高崎計 (2003): 「日本海岩内海洋深層水」取水施設の建設. 海洋深層水 2003 焼津大会講演要旨集, 19-20
- 仙石芳英・鈴木孝治 (2001): 三浦沖海洋深層水の取配水設備. 海洋深層水 2001 小田原大会講演要旨集, 4
- 清水勝公 (1997): 深層水取水施設の調査設計について.

- 海洋深層水 '97 富山シンポジウム講演記録集, 51-54
- 清水勝公 (2000): 海洋深層水の陸上への取水. 月刊海洋号外 No. 22, 32-42
- 清水勝公・堀哲郎・藤原龍雄・谷口道子 (1998): 深層水取水管の流速係数, 海洋深層水 '98 高知大会講演要旨集, 14-15
- 鈴木俊行 (1998): 洋上施設型海洋深層水取水試験装置の設置. Macroreview, 10(2), 39-44
- 高橋正征 (2001): シンポジウム資料
- 高橋正征・中原裕幸・大貫麻子 (1998): 海洋深層水の新しい取水方式に関する予備的調査 (II). 海洋深層水 '98 高知大会講演要旨集, 6
- 田中正博・藤田恒美 (2001): 洋上取水方法並びに小口径大容量陸上設置型取水方法. 海洋深層水 2001 小田原大会講演要旨集, 9-10
- 東京大学海洋研究所 (2002): KH-02-3 クルーズレポート, 29
- 当真武・津波古喜正・藤井真・清水勝公他 (2000): 沖縄海洋深層水の取水施設の建設. 海深研 1, 79-84
- 当真武・津波古善正・藤井真・堀哲郎 (1999): 久米島海洋深層水取水施設の建設計画. 海洋深層水 '99 佐賀大会講演要旨集, 42-43
- 豊田孝義・中島敏光・萩原運弘・平田龍善他 (2000): 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, 26-28
- 豊田孝義・清水勝公・藤原龍雄 (2002): 口頭発表深層水取水管の流速係数 (続報). 高知県海洋深層水研究所報第 5 号, 143-145
- 津波古善正・藤井真・堀哲郎 (2000): 海洋深層水の取水施設 (特集海洋土木技術). 建設の概械化 601, 32-37
- 山岸徳治 (2002): 「内浦町における深層水計画について」. 第 7 回深層水情報交換会深層水 Navi 7 資料
- 山口卓見 (1999): 深層水取水技術と利用の現状. OHM, 86(6) (通号 1080), 90-96
- 山口卓見・牧野芳郎・安部智 (1997): 深層水取水管の製造と布設. 海洋深層水 '97 富山シンポジウム講演記録集, 55-57
- 山口卓見・井上哲夫・平川正夫・他 (2003): 海洋深層水取水事業の展開. 古河電工時報第 112 号, 70-75
- 山越康行・明田定満・前田久明・他 (1991): 洋上型深層水利用装置の動揺計測について. 漁船 (通号 292), 122-136
- 山本亮介・田中伸和・鷲尾幸久他 (2000): エアリフトポンプの揚水特性に関する室内・実海域実験と数値解析コードの開発. 電力中央研究所報告 (通号 00018), 1-24
- 山中新 (2002): 岩内湾深層水浅海域取水管の敷設方法. 海洋深層水 2002 久米島大会講演要旨集, 35
- 米澤雅之・森川正夫・増田哲 (2003): MF21 海洋肥沃化装置の開発可撓性スチールライザー管のアペンディング. 海洋深層水 2003 焼津大会講演要旨集, 25

(2002. 9. 4 受付, 2004. 8. 10 受理)