

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） —CO₂排出量を指標としたLCA—

Feasibility Study of Large-Scale Deep Ocean Water
Distribution System (2nd report)
—Life Cycle Assessment Based on CO₂ Emission—

大塚 耕司¹・松本 吉倫²
Koji OTSUKA and Yoshitsugu MATSUMOTO

Abstract

The purpose of this study is to evaluate feasibility of a large-scale deep ocean water (DOW) pumping-up/distribution system. In this paper, total CO₂ emission for two types of the DOW pumping-up/distribution systems, land-based and floating-type, are assessed in their life cycle. The results of the assessments show that the CO₂ emission from DOW storage system is largest at initial stage. At operational stage, the CO₂ emission from shuttle tanker fuel is quite large, and dominant in the total CO₂ emissions.

Key Words: *deep ocean water, pumping-up/distribution system, CO₂ emission, life cycle assessment*

要 旨

本研究では、海水系水道インフラへの展開を前提とした海洋深層水大規模取水－分配システムについて、経済面、環境面から実現可能性について考察することを目的としている。本報では、相模湾から首都圏に海洋深層水を供給する陸上型および洋上型の取水システムを想定し、環境面からの実現可能性評価としてCO₂排出量を指標としたライフサイクルアセスメントを行った。その結果、建設時におけるCO₂排出量としては、備蓄施設からのものが最も大きいことがわかった。また運用時のCO₂排出量としては、洋上型システムにおけるシャトルタンカーの排気ガスが最も大きく、ライフサイクル全体の排出量に占める割合も非常に大きいことがわかった。

キーワード：海洋深層水、取水－分配システム、CO₂排出量、ライフサイクルアセスメント

1. 緒 言

現在、世界中で起きている水不足の問題は、食糧危機、エネルギー危機にもまして緊急の課題となっている。飢餓人口8億人に比べ、飲料水不足人口は10億人とも言われており、2002年夏に開催さ

れたヨハネスブルグ・サミットにおいても水問題が主要な議題として取り上げられている。

太平洋島嶼地域は、大陸中央部乾燥地帯と並び、水不足が最も深刻な地域である。ここでは、雨量は比較的多いものの大型の河川や淡水湖が乏しく、水源の大部分を地下水系に頼っているところが多いが、

¹大阪府立大学大学院工学研究科 (〒599-8531 大阪府堺市学園町1-1)

²日本IBM株式会社 (〒103-8510 東京都中央区日本橋箱崎町19-21)

近年のリゾート開発等により地下水の汲み上げが増加したため、海水の浸透によって飲料水として使用できなくなる地下水源が続出している。このような背景から、海水淡水化による飲料水の確保は不可避となってきており、パラオ共和国等では海洋温度差発電と海水淡水化を組み合わせたインフラ整備の動きが活発化している(Decherong, 2002)。

一方、我が国でも水問題は深刻になりつつある。毎年のように発生している夏場の渇水に加え、水源となる湖や河川の水質悪化が加速しており、クリップトスピリジウムに代表されるように、従来の殺菌方法では対処できないような汚染も具現化している。これに対し、一般家庭では自衛手段ともいえるボトル飲料水や家庭用浄水器の普及が進んでおり、そういった家庭では、生の水道水は既にトイレや風呂などで使用する洗浄水(中水)として捉えるようになっている(有田, 2001)。

ボトル飲料水の価格は¥200/l程度、浄水器使用では減価償却とフィルター交換の費用などを考慮すると¥2/l程度となり、上水道料金(¥0.2/l程度)に比べ、それぞれ1000倍、10倍の金額を支払っていることになる。このことは、我が国においても、欧米のように上水と中水を分離した水道事業を行う時期に来ていることを示しているものといえる。

そこで本研究では、清浄な海洋深層水を用いた上水道インフラの構築を前提とした、海洋深層水大規模取水一分配システム(図-1)を提案している(松本・大塚, 2002)。ここで想定している海洋深層水の利用方法は、海洋温度差発電とそれによる水

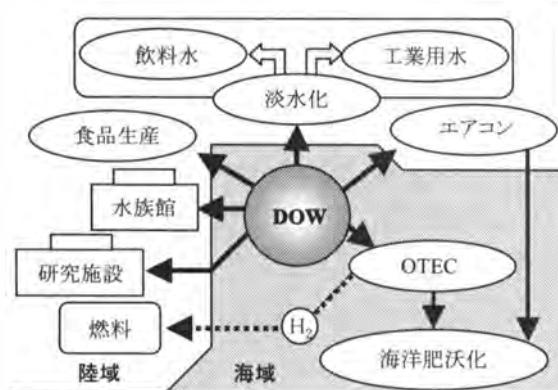


図-1 大規模取水一分配システムによる海洋深層水多目的利用のコンセプト

素生産、排水を利用した海洋肥沃化、地域冷房、水族館や研究所、食品生産での海水そのものの利用、それに淡水化した水の上水および工業用水としての利用などである。このうちの基幹部分となる取水一分配システムについて、経済面、環境面から実現可能性について評価することが本研究の目的である。

第1報(松本・大塚, 2002)では、相模湾で海洋深層水を取水して首都圏に分配することを想定し、陸上取水－パイプライン分配方式と洋上取水－シャトルタンカー分配方式の2ケースについて経済性評価を行った。その結果、経済面では洋上型システムのほうが陸上型より有利であり、一部淡水化するコストを取水する海水全体に広く浅く上乗せすることで水道水レベルに原価を抑えられることを示した。第2報である本報では、第1報と同じケースについて環境面から評価することを目的として、CO₂排出量を指標としたライフサイクルアセスメント(LCA)を行う。

2. 海洋深層水取水一分配システムの概要

ここで想定した海洋深層水大規模取水一分配システムは、図-2に示すように、相模湾で海洋深層水を取水し、大消費地である東京、浦安、横浜の3都市に設置した深層水備蓄基地に分配するというシステムである。ここでは、陸上型と洋上型の2種

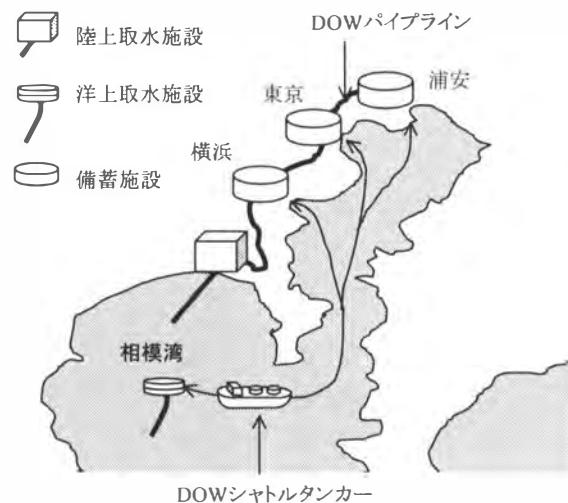


図-2 首都圏における海洋深層水大規模取水一分配システムの概要

表-1 海洋深層水の取水および分配の規模

	OTEC/ 肥沃化量 (t d ⁻¹)	深層水 分配量 (t d ⁻¹)	計 (t d ⁻¹)
夏季(6月～11月)	700,000	300,000	1,000,000
冬季(12月～5月)	0	300,000	300,000

表-2 分配される海洋深層水の想定量

	原水分配 量 (t d ⁻¹)	淡水分配量 (t d ⁻¹)		計 (t d ⁻¹)
		飲料水	工業用水	
東京	70,000	10,000	20,000	100,000
浦安	70,000	10,000	20,000	100,000
横浜	70,000	10,000	20,000	100,000

類を想定し、陸上型は茅ヶ崎市沿岸部で取水し、高速道路など主用幹線道路に沿ったパイプラインにより、横浜、東京、浦安に設置された備蓄基地まで原水を供給するというシステムとなっている。また海上型は、相模湾中央部で取水し、3隻のシャトルタンカーで横浜、東京、浦安の備蓄基地に原水を輸送するというシステムとなっている。

陸上型、海上型いずれも、取水施設では2.5 MW規模のOTEC施設が備わっているとする。表-1に示すように、水温差のある夏季（6月～11月）は、日量100万トンの取水を行い、そのうち70万トンをOTECに使用し、取水施設のエネルギー供給および水素生産を行った後、排水を相模湾内の海洋肥沃化を利用する。水温差のない冬季にはOTECを行わず、各都市へ分配する深層水30万トンのみをディーゼル発電によって取水すると仮定した。深層水取水管は、内径2.86 m、厚さ70 mmの硬質ポリエチレン管を用いることとし、陸上施設では長さ5km、海上施設では長さ500mとした。また海上取水施設の浮体の排水量は4,000 tとし、シンカーとしてコンクリート1,600 tを使用とした。

3都市に分配する海洋深層水の内訳は表-2に示すとおりである。各都市10万トンで、そのうち7万トンを原水のまま、水産施設、水族館、温浴施設、研究所、各種工場へ分配し、残りの3万トンを淡水化した後、各家庭への飲料水と半導体工場などへ

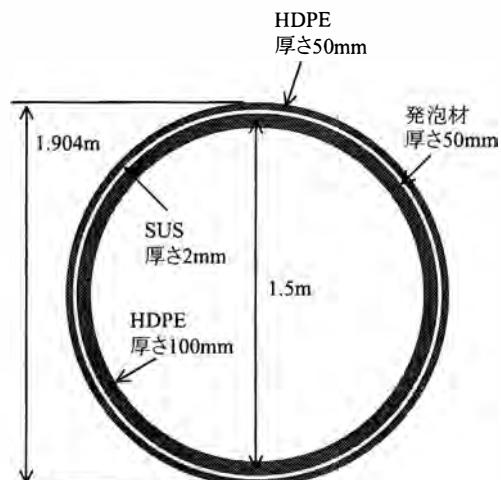


図-3 深層水供給用パイプラインの断面図

の工業用水として分配する。陸上型では、深層水の分配に図-3に示すような断面を持つ総延長76.1 kmのパイプラインを用いることとし、海上型では、100,000 DWTのシャトルタンカー3隻を用いて、各都市1日1往復で輸送すると仮定した。また、各備蓄施設には5日間分（50万トン）の備蓄が可能なよう、直径70m、高さ30m、板厚20mmの鉄製備蓄タンクを5基設置するとした。

3. CO₂排出量を指標としたLCA

(1) LCAの概要

ここでは、環境影響を評価する指標として、社会経済活動と深く結びつきのあるCO₂排出量を扱い、取水一分配システムの建設、運用から廃棄に至るまでのCO₂の出入に関するものとして、表-3に示す項目について分類し、ライフサイクルの期間LC(yr)運用した場合について評価を行った。

各項目のうち、建設素材の生産、建設・建造、リサイクル、リサイクルで回収された素材については、建設および廃棄時にのみ排出されるもので、管理・運営、取水に伴う溶存CO₂の放出、海洋肥沃化によるCO₂固定については、毎年排出されるものである。したがって、ライフサイクル全期にわたるCO₂の総排出量TEは次式で表すことができる。

$$TE = E_M + E_C + E_R + E_{RM} + (E_O + E_{CR} + E_{CF}) LC \quad (1)$$

表-3 ライフサイクルアセスメントを行う際の各項目と算出方法の概要

記号	項目	単位	陸上/洋上取水施設	備蓄施設	パイプライン(陸上型)	シャトルタンカー(洋上型)
E_M	建設素材の生産に伴うCO ₂ 排出量	t-CO ₂	OTEC(2.5MW)の建設例を基に積上げ法で算出			タンカーの建造例を基に算出
E_C	建設・建造に伴うCO ₂ 排出量	t-CO ₂	OTEC(100MW)の建設例を基に素材に対する割合から算出	産業連関表から算出		重油消費量から算出
E_O	管理・運用に伴うCO ₂ 排出量	t-CO ₂ yr ⁻¹				
E_R	リサイクルに伴うCO ₂ 排出量	t-CO ₂	タンカーの建造例を基に素材に対する割合から算出			
E_{RM}	リサイクルで回収された素材のCO ₂ 回収量	t-CO ₂	セメント・プラスチック類と金属類に分けてリサイクル率を設定して算出			
E_{GR}	取水に伴う溶存CO ₂ の放出量	t-CO ₂ yr ⁻¹	表層と取水深度の溶存無機炭素濃度の差から算出			
E_{GF}	海洋肥沃化によるCO ₂ 固定量	t-CO ₂ yr ⁻¹	取水深度の溶存無機窒素濃度からレッドフィールド比を用いて算出			

表-4 建設素材の生産に伴うCO₂排出量の計算結果

	素材	使用量(t)	原単位(t-CO ₂ t ⁻¹)	CO ₂ 排出量(t-CO ₂)	計(t-CO ₂)
陸上型取水施設	鉄	1,700	1.18	2,006	14,657
	セメント	3,800	0.72	2,736	
	ステンレス鋼	6.0	3.33	20	
	銅	12.2	1.30	16	
	チタン合金	600	10.06	6,036	
	クロム合金	1.2	7.79	9	
	アンモニア	50	1.11	56	
	硬質ポリエチレン	3,202	1.18	3,778	
洋上型取水施設	鉄	4,000	1.18	4,720	11,394
	コンクリート	1,600	0.10	160	
	ステンレス鋼	6.0	3.33	20	
	銅	12.2	1.30	16	
	チタン合金	600	10.06	6,036	
	クロム合金	1.2	7.79	9	
	アンモニア	50	1.11	56	
備蓄施設	鉄	109,965	1.18	129,759	252,879
	セメント	171,000	0.72	123,120	
パイプライン	ステンレス鋼	6,337	3.33	21,102	89,131
	硬質ポリエチレン	56,983	1.18	67,240	
	発泡スチロール	262	3.01	789	
シャトルタンカー	鉄	16,810	1.18	19,836	20,291
	塩化ビニル	152	1.50	228	
	エポキシ樹脂	57	3.98	227	

以下、各項目ごとに CO₂ 排出量の算出方法と結果について詳述する。

(2)建設素材の生産に伴う CO₂ 排出量

素材の生産に伴う CO₂ 排出については、稲葉（1996）による各素材の CO₂ 排出原単位（付録、表-A1 参照）を基に積上げ法により算出した。陸上取水施設、洋上取水施設、備蓄施設の素材量については、田原ら（1997）による 2.5 MW-OTEC プラントの建設例（付録、表-A2 参照）を基に算出し、シャトルタンカーの素材量については、木原ら（2002）による 87,500 DWT オイルタンカーの建造例（付録、表-A3 参照）を基に 100,000 DWT にスケールアップして算出した。また、パイプラインについては、図-3 に示した断面を持つものとして算出した。

表-4 に計算結果を示す。取水システムの比較では、深層水取水管の距離が長い陸上型のほうが洋上型よりも大きくなっている。また輸送システムの比較では、シャトルタンカーに比べてパイプラインの値が非常に大きい。また、これらと比較すると備蓄施設の値が極端に大きいことがわかる。これは 50 万トンという大規模な備蓄量を設定したためであり、CO₂ 排出量を減らすためには、緊急時に必要となる飲料水用の深層水のみ備蓄するなど、規模を縮小する必要があると思われる。

(3)建設・建造に伴う CO₂ 排出量

陸上取水施設、洋上取水施設、備蓄施設の建設に伴う CO₂ 排出量については、田原ら（1993）による 100 MW-OTEC プラントの建設例（付録、表-A4 参照）を基に素材に対する割合で算出し、シャトルタンカーの建造に伴う CO₂ 排出量については、木原ら（2002）によるオイルタンカーの建造例（付録、表-A5 参照）を基に素材に対する割合で算出した。また、パイプラインについては、95 年度の産業連関表（森口・南斎、1995）の下水道部門から算出した。以上のようにして算出した結果を表-5 に示す。素材と同様備蓄施設からの排出量が最も大きくなっているが、素材に対する割合が大き

表-5 建設・建造に伴う CO₂ 排出量の計算結果

	素材のCO ₂ 排出量 (t-CO ₂)	素材に対 する割合	CO ₂ 排出量 (t-CO ₂)
陸上型取水施設	14,657	0.343	5,027
洋上型取水施設	11,394	0.343	3,908
備蓄施設	252,879	0.343	86,737
パイプライン	89,131	0.470	41,891
シャトルタンカー	20,291	0.146	2,962

表-6 リサイクルに伴う CO₂ 排出量の計算結果

	素材のCO ₂ 排出量 (t-CO ₂)	素材に対 する割合	CO ₂ 排出量 (t-CO ₂)
陸上型取水施設	14,657	0.093	1,363
洋上型取水施設	11,394	0.093	1,060
備蓄施設	252,879	0.093	23,518
パイプライン	89,131	0.093	8,289
シャトルタンカー	20,291	0.093	1,887

いパイプラインからの排出が備蓄施設からの約半分となっており、逆に素材に対する割合の小さいシャトルタンカーは取水施設を下回っていることがわかる。

(4)リサイクルに伴う CO₂ 排出量

OTEC 施設やパイプラインの廃棄・リサイクルに関する詳細データが得られなかったため、全ての施設に関して、木原ら（2002）によるオイルタンカーの解撤例（付録、表-A5 参照）を基に素材に対する割合で算出した。その結果を表-6 に示す。素材に対する割合は全て 0.093 としているため、全排出量に占める各施設からの排出量の割合は素材と同じとなっている。

(5)リサイクルで回収された素材の CO₂ 回収量

リサイクルによって回収される素材は再利用を行うと考え、リサイクル素材は生産時のエネルギーと同等分の CO₂ を回収できるとして算出した。回収率については、素材をセメント・プラスチック類と金属類・その他に分類し、それぞれ回収率を 80 %, 70 %とした。計算結果を表-7 に示す。セメント・プラスチック類と金属類との素材量の比によって多少の変化はあるものの、全排出量に占める各施設か

表-7 リサイクルによって回収された素材の CO₂ 排出量の計算結果

	素材	素材のCO ₂ 排出量 (t-CO ₂)	回収率	CO ₂ 排出量 (t-CO ₂)	計 (t-CO ₂)
陸上型取水施設	セメント・プラスチック類	6,514	0.80	-5,211	-10,873
	金属類・その他	8,087	0.70	-5,661	
洋上型取水施設	セメント・プラスチック類	538	0.80	-430	-7,991
	金属類・その他	10,801	0.70	-7,561	
備蓄施設	セメント・プラスチック類	123,120	0.80	-98,496	-189,327
	金属類・その他	129,759	0.70	-90,831	
パイプライン	セメント・プラスチック類	68,029	0.80	-54,423	-69,194
	金属類・その他	21,102	0.70	-14,772	
シャトルタンカー	セメント・プラスチック類	455	0.80	-364	-14,249
	金属類・その他	19,836	0.70	-13,885	

表-8 シャトルタンカーの運用時の重油使用量と CO₂ 排出量の計算結果

	往復航路 距離 (km)	深層水 輸送量 (t d ⁻¹)	稼動 日数 (d yr ⁻¹)	重油使用 原単位 (g t ⁻¹ km ⁻¹)	年間重油 使用量 (t yr ⁻¹)	CO ₂ 排出原 単位 (t-CO ₂ t ⁻¹)	年間CO ₂ 排 出量 (t-CO ₂ yr ⁻¹)
東京	192	100,000	292	0.99	5,550	3.22	17,872
浦安	192	100,000	292	0.99	5,550	3.22	17,872
横浜	144	100,000	292	0.99	4,163	3.22	13,404

らの排出量の割合は基本的に素材と同じとなっている。

(6)管理・運用に伴う CO₂ 排出量

シャトルタンカーの運用時の CO₂ 排出量については、木原ら（2002）が見積もった外航オイルタンカーの輸送トンマイルあたり燃料消費量の 50 % で航行が可能（湾内航行がほとんどであるため）であるとして算出した（表-8）。その他の基本的な管理・メンテナンスに関わる CO₂ 排出量については、各施設とも素材に対して一律 2 % とした。なお取水施設については、OTEC を行わない冬季（12月～5月）における取水に必要な動力を見積もる必要があるため、田原ら（1993）による OTEC プラントの運用例（付録、表-A4 参照）を基に半年間に 30 % の取水があるとして、素材に対して 9.9 % 上乗せすることで算出した（表-9）。

(7)取水および肥沃化による CO₂ 収支

海洋深層水中には、有機物の分解によって生じた炭酸ガスが高圧低温下で多く溶存している。これを

表-9 管理に伴う CO₂ 排出量の計算結果

	素材のCO ₂ 排出量 (t-CO ₂)	素材に対 する割合	CO ₂ 排出量 (t-CO ₂)
陸上型取水施設	14,657	0.119	1,744
洋上型取水施設	11,394	0.119	1,356
備蓄施設	252,879	0.020	5,058
パイプライン	89,131	0.020	1,783
シャトルタンカー	20,291	0.020	406

常温大気圧下まで取水すると、CO₂ がガスとなって放出する。一方、海洋肥沃化を行うと、一次生産の過程で表層の溶存 CO₂ が使われ、消費された分だけ大気から吸収されることになる。

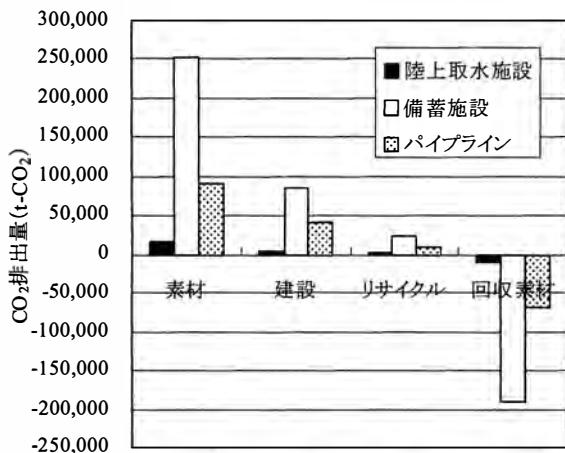
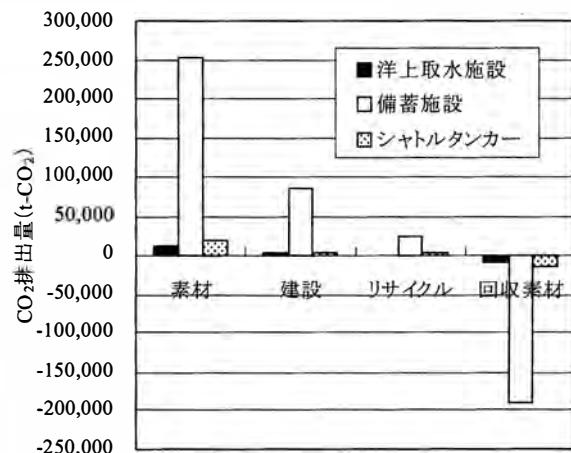
ここでは、相模湾の表層と深度 400 m で実測された溶存無機炭素と溶存無機窒素の濃度差のデータ（マリノフォーラム 21, 2002）を基に、CO₂ の放出量および固定量を算出した。なお、海洋肥沃化に伴う CO₂ 固定量については、放流される溶存無機窒素が植物プランクトンの一次生産により 100 % 消費されるとし、レッドフィールド比 (C/N = 106/16) を用いて炭素固定量を見積もった（表-10）。海洋肥沃化を行う時期が夏季に限定されてい

表-10 取水に伴う CO₂ の放出量および海洋肥沃化による CO₂ 固定量の計算結果

	取水/放水量	CO ₂ 放出/固定原単位	CO ₂ 放出/固定量	
	(t yr ⁻¹)	(μM-CO ₂ kg ⁻¹)	(g-CO ₂ t ⁻¹)	(t-CO ₂ yr ⁻¹)
取水によるCO ₂ 放出	189,800,000	210	2.52	478
肥沃化によるCO ₂ 固定	102,200,000	-192	-2.30	-235

表-11 CO₂ 排出量の各項目の比較

	素材 (t-CO ₂)	建設 (t-CO ₂)	リサイクル (t-CO ₂)	回収素材 (t-CO ₂)	管理・運用 (t-CO ₂ yr ⁻¹)
陸上型取水施設	14,657	5,027	1,363	-10,873	1,744
洋上型取水施設	11,394	3,908	1,060	-7,991	1,356
備蓄施設	252,879	86,737	23,518	-189,327	5,058
パイプライン	89,131	41,891	8,289	-69,194	1,783
シャトルタンカー	20,291	2,962	1,887	-14,249	49,554

図-4 陸上型システムで建設および廃棄時に排出されるCO₂量

るため、CO₂ 放出量が固定量を上回っている。

(8) LCA の結果

取水による CO₂ 放出と海洋肥沃化による CO₂ 固定以外の CO₂ 排出量を表-11 にまとめた。このうち、建設および廃棄時に排出される CO₂ について、陸上型システムと洋上型システムに分けて整理したものが、図-4 および図-5 である。備蓄施設については共通であるので、それを基準に比較することができる。取水システムから排出される CO₂ 量は全体に占める割合が小さく、陸上型に比べると洋上型の方が少ないことがわかる。また、輸送システムについては、長距離をパイプラインで繋ぐ陸上型のほうがシャトルタンカーを用いる洋上方に比べて 4 倍以上大きくなっている。これらに比べて突出して

大きいのが、備蓄システムから排出される CO₂ 量である。これは、前述のように、備蓄量を 50 万トンに設定し、非常に大きな備蓄タンクを建設しているためであり、現実的には、緊急時に必要となる飲料水用の深層水のみ備蓄するなど、規模を縮小する必要があると思われる。

図-6 は、管理や運用にかかる CO₂ 排出、取水に伴う CO₂ 放出や海洋肥沃化による CO₂ 固定など、運用時に常時排出される CO₂ の年間排出量を示したものである。これを見ると、洋上型の輸送システム、すなわちシャトルタンカーから排出される CO₂ 量が著しく大きいことがわかる。このうちの大部分が運行に伴う重油消費によるものである（表-8、表-9 参照）。また、取水に伴う CO₂ 放出量と海洋肥沃化による CO₂ 固定量の差は、表-10 から

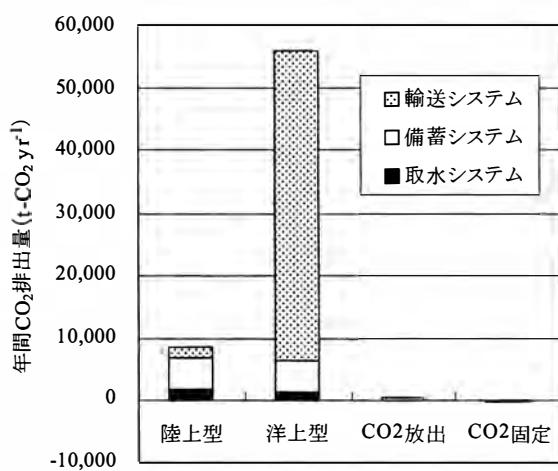


図-6 陸上および洋上型システムで毎年排出される CO₂ 量

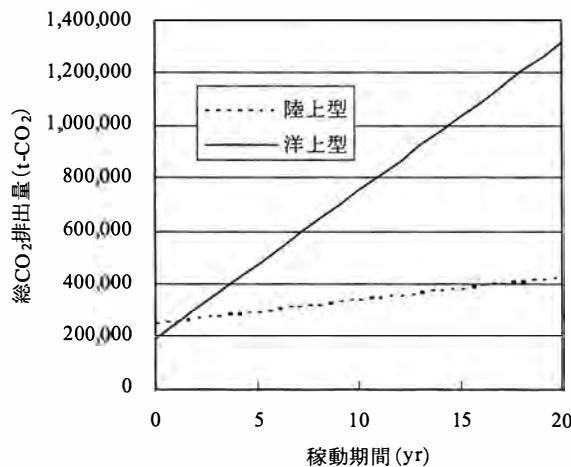


図-7 陸上および洋上型システムの LCA 結果

243 t-CO₂ yr⁻¹ と計算され、取水システムや備蓄システムの管理・運用に伴う CO₂ 排出量に比べて 1 衝小さく、シャトルタンカーの運用に伴う CO₂ 排出量に比べると 2 衝小さい値となっている。

図-7 は、横軸に稼動年数、縦軸にライフサイクルにわたる総 CO₂ 排出量をとったものである。縦軸の切片は、建設および廃棄時にのみ排出される CO₂ 量の合計を示しており、傾きが運用時に常時排出される CO₂ 量の合計となっている。これを見ると、建設および廃棄時に排出される CO₂ 量は陸上型のほうが大きいものの、運用時に排出される CO₂ 量は圧倒的に洋上型のほうが大きく、稼動年数 20 年では 3 倍以上となっている。この原因は、前述のようにシャトルタンカーの燃料消費であり、

ライフサイクルにわたって CO₂ 排出量を削減するための最も大きな課題であるといえる。

4. 結 言

相模湾から首都圏に海洋深層水を供給する陸上型および洋上型の取水システムを想定し、CO₂ 排出量を指標とした LCA を行った結果、以下の結論を得た。

- ・建設および廃棄時における CO₂ 排出量については、備蓄システムから排出される CO₂ 量が最大となる。また、取水システムは全体に占める割合が小さく、輸送システムは、パイプラインを用いる陸上型のほうがシャトルタンカーを用いる洋上型に比べて大きくなる。
- ・運用時の CO₂ 排出量については、洋上型システムにおけるシャトルタンカーの燃料消費に伴う排出量が最も大きく、ライフサイクル全体の排出量に占める割合も非常に大きい。この排出量をいかに抑えるかが今後の課題であるといえる。

付 錄 LCA を行う際に使用した基礎データ

表-A1 CO₂ 排出量原単位 (稻葉, 1996)

素材	CO ₂ 排出原単位 (t-CO ₂ t ⁻¹)
鉄	1.18
コンクリート	0.10
セメント	0.72
ステンレス鋼	3.33
銅	1.30
チタン鋼	10.06
クロム鋼	7.79
硬質ポリエチレン	1.18
塩化ビニル	1.50
エポキシ樹脂	3.98
発泡スチロール	3.01
アンモニア	1.11
重油	3.22

表-A2 2.5 MW-OTEC の素材量（田原ら, 1997）

素材	使用量 (t)
鉄	1,700
セメント	3,800
ステンレス鋼	6.0
銅	12.2
チタン合金	600
クロム合金	1.2

表-A3 87,500 DWT オイルタンカーの素材 CO₂ 排出量（木原ら, 2002）

素材	CO ₂ 排出量 (t-CO ₂)
鉄	17,400
塩化ビニル	200
エポキシ樹脂	200

表-A4 100 MW-OTEC の素材 CO₂ 排出量に対する建設、管理、運用 CO₂ 排出量の割合（田原ら, 1993）

項目	CO ₂ 排出量 (t-CO ₂)	素材に対する割合
素材	42,415	1.000
建設	14,532	0.343
管理(yr ⁻¹)	867	0.020
運用(yr ⁻¹)	28,109	0.663

表-A5 87,500 DWT オイルタンカーの素材 CO₂ 排出量に対する建造、解撤 CO₂ 排出量の割合（木原ら, 2002）

項目	CO ₂ 排出量 (t-CO ₂)	素材に対する割合
素材	17,800	1.000
建造	2,600	0.146
解撤	1,660	0.093

文 献

- 稻葉敦. 1996. LCA における基礎素材の製造に関する CO₂ 排出原単位. 化学経済. 7月号, 49-57.
- 田原聖隆・小島紀徳・稻葉敦. 1997. LCA 手法による発電プラントの評価—CO₂ペイバックタイムの算出—. 化学工学論文集. 23, 88-93.
- 木原洋・亀山道弘・平岡克英・千田哲也・成瀬健・城田英之・桜井昭男・福元正明. 2002. 船舶への LCA の適用に関する調査研究. 海上技術安全研究所報告. 2(2), 35-185.
- 田原聖隆・堀内都雄・小島紀徳. 1993. 二酸化炭素問題における海洋温度差発電の役割. MARCO REVIEW. 6(2), 35-43.
- 森口祐一・南斎規介. 1995. 産業連関表によるエネルギー・二酸化炭素排出原単位'95(β版). 地球環境研究センター, 環境庁国立環境研究所.
- Decherong, G. 2002. The project for ocean thermal energy conversion (OTEC) and its multi-purpose utilization in the Republic of Papau, Proc. of Forum on Desalination Using Renewable Energy.
- 有田一彦. 2001. あぶない水道水—袋小路の水道パラダイム. 土木学会誌. 86, 5-8.
- 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－. 海洋深層水研究. 3, 21-29.
- 社団法人マリノフォーラム 21. 2002. 平成13年度深層水活用型漁場造成技術開発情報・効果ワーキンググループ報告書. 9.

(2003. 2. 14 受付, 2003. 7. 8 受理)