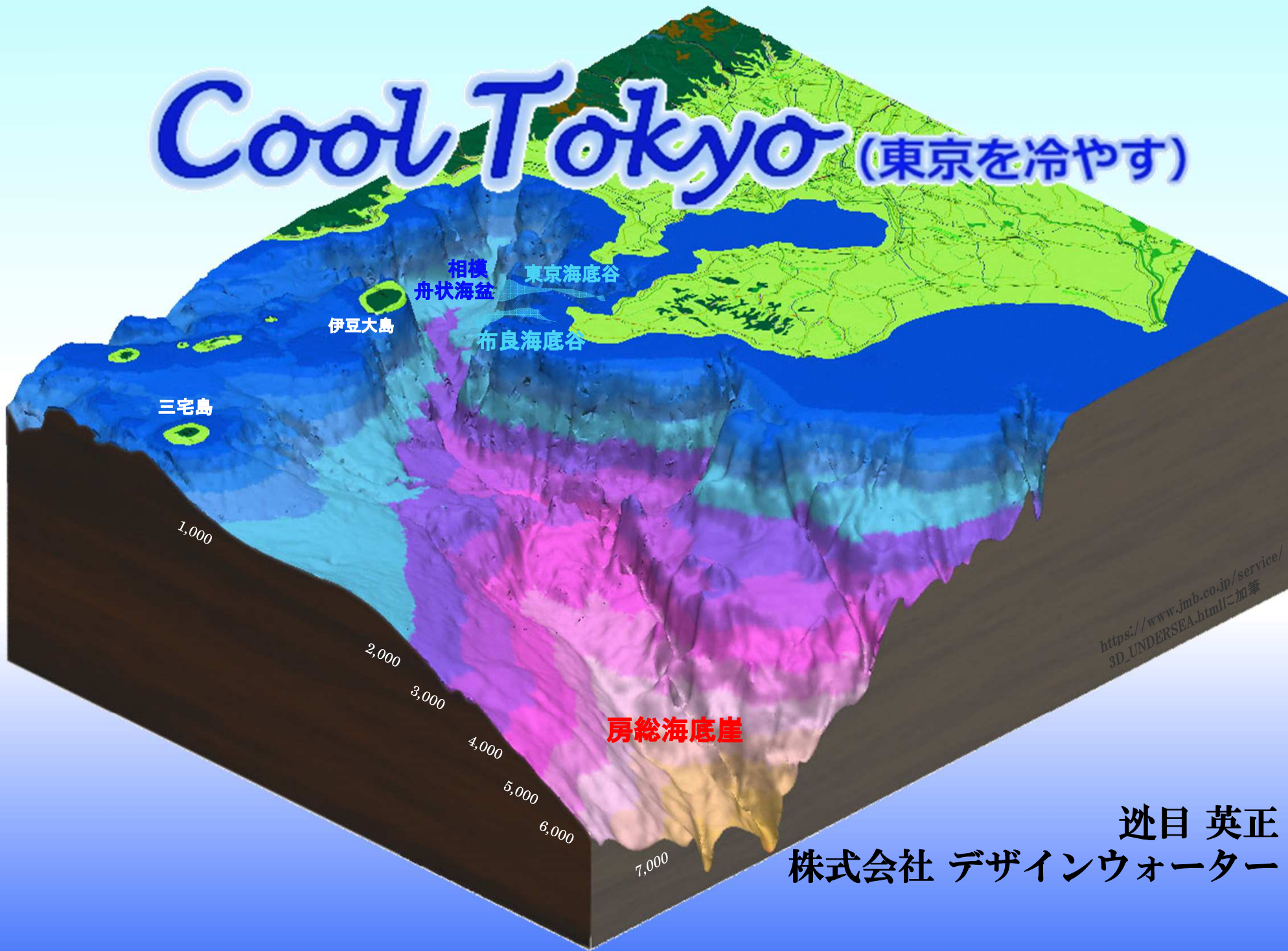


Cool Tokyo (東京を冷やす)



迹目 英正
株式会社 デザインウォーター

Contents

1. 海洋深層水の特長、活用法および取水サイト

(1) 海洋深層水の起源、特性	p.1
図-1 海洋大循環モデルと世界の海底地形	
図-2 水質の南北縦断図	
図-3 北極・南極からのトレーサーと水深4,000mの流れ	
図-4 海洋深層水の特長（表層水との違い）	→ 清浄性、PH、低温など 陸水にない特長、活用法
(2) 海洋深層水活用法と採算性	p.3
図-5 海洋深層水のカスケード利用	→ 人類にとって未知の、 新しい材料
表-1 海洋深層水の経済的価値	
(3) 海洋深層水取水サイト	p.5
図-6 日本近傍の海底地形と深層海流	→ 海洋深層水は 布良海底谷、東京海底谷へ
図-7 房総海底崖・相模舟状海盆	

【参考3】レアメタル、レアアース等の捕集と採算性	p.21
図-20 商業化メタル（含有量×捕集効率⇒採算性）の変化	→ 低コスト、無感の鉱脈
図-21 ウラン飽和吸収量のpH依存性	
図-22 溶存酸素量とPHの鉛直分布	
図-23 有機物（分離の際の汚れ）の鉛直分布	
【参考4】海水（海洋深層水）分離	p.23
図-24 清浄性による膜分離のコスト低減	→ 淡水コスト16円/m ³ 水・食糧問題の解消
図-25 海洋深層水分離工程	
表-8 ED蒸発缶製塩法と提案工法の省エネ比較	
【参考5】非集光型太陽熱温度差発電	p.24
図-26 非集光型太陽熱温度差発電の構成	→ 安定性（稼働率90%）、 負荷追随性、拡張性、 低コストを備える、 再生可能エネルギーによる 発電方式
図-27 高温側熱源温度～発電コスト	

首都圏・日本・世界の、
エネルギー・水・食糧・資源・環境問題に貢献！

2. Cool Tokyo（東京を冷やす）の事業性

(1) 与条件	p.7
表-2 海洋深層水使用量、流量	→ 直ぐに売上が立つこと
図-8 取水管・送水管全体図（案）	
【参考1】東京湾水温・気温とLNG-CCの出力	p.8
図-9 電力需要と東京湾の気温、水温の時間変化	
図-10 1,300℃級LNG-CCエネルギーフロー	→ LNG-CCの 弱点を補完 膨大な需要
図-11 気温、水温とLNG-CCの出力	
(2) 施設（案）概要	p.9
図-12 取水管配置図（案）	→ 既往最先端技術の享受
図-13 取水管構造図（案）	
図-14 シールド工法参考図	
図-15 都心冷却水供給（空調他）全体図（案）	
図-16 都心冷却水供給断面図（案）	
図-17 分岐管（都心環境保全）断面図（案）	→ Cool Tokyo 環境保全
【参考2】送水コスト、到達温度	p.15
図-18 流量～管径・送水コスト・到達温度	
図-19 地温分布	→ 経済的に 取水・送水できる！ 冷たいまま運べる！
表-3 館山取水・都心送水時の水温上昇	
(3) 事業収支および付随効果	p.17
表-4 Cool Tokyo（東京を冷やす）事業収支	→ 冷熱の恩恵、威力
【補足1】表-5 投資額・採算性の比較（取水規模の検討）	p.18
【補足2】表-6 段階施工及び実証実験の事業性	p.19
【補足3】表-7 発電、空調でCool Tokyoと他方式との比較	

3. 政策提言

(1) 事業の特性と工夫	p.20
(2) デフレを脱する新しいインフラ整備	

1. 海洋深層水の特徴、活用法および取水サイト

(1) 海洋深層水の起源、特性

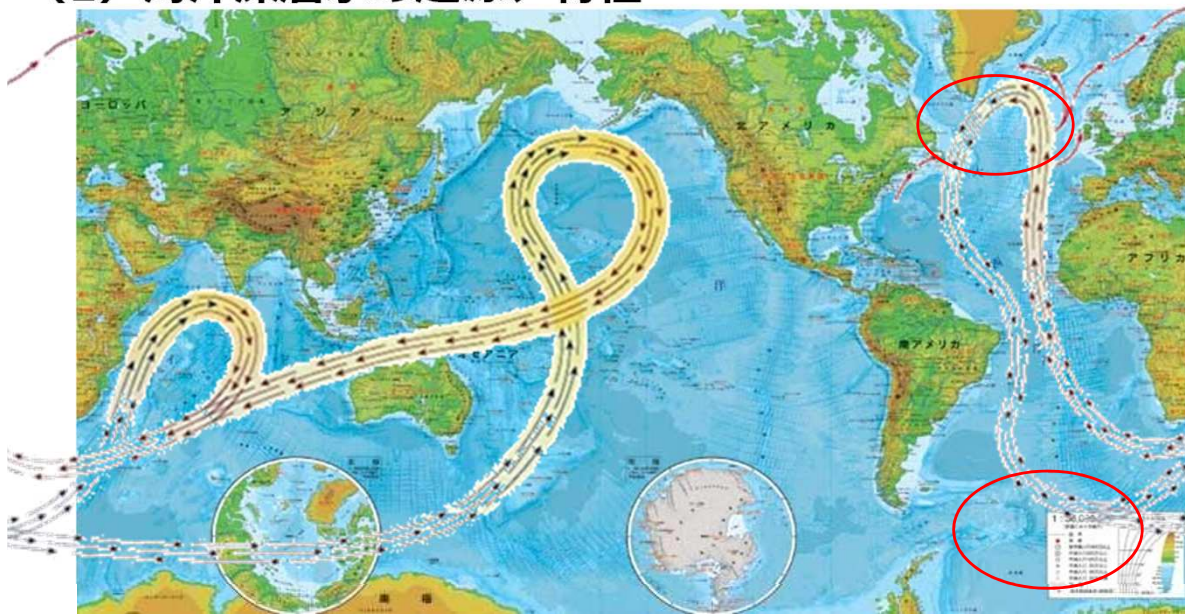


図-1 海洋大循環モデルと世界の海底地形

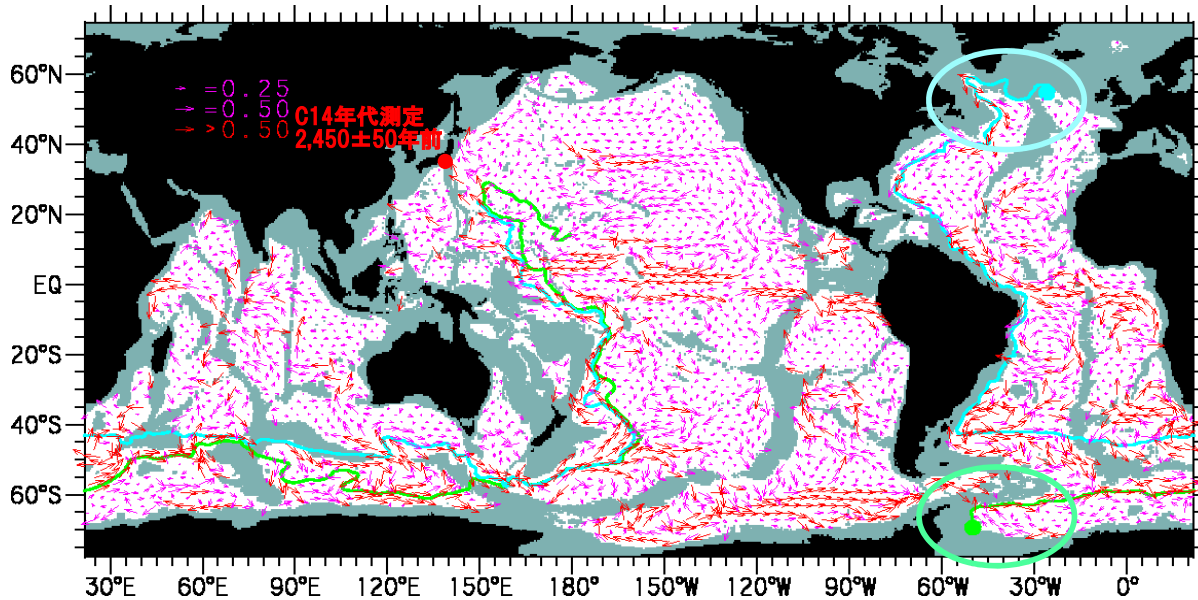
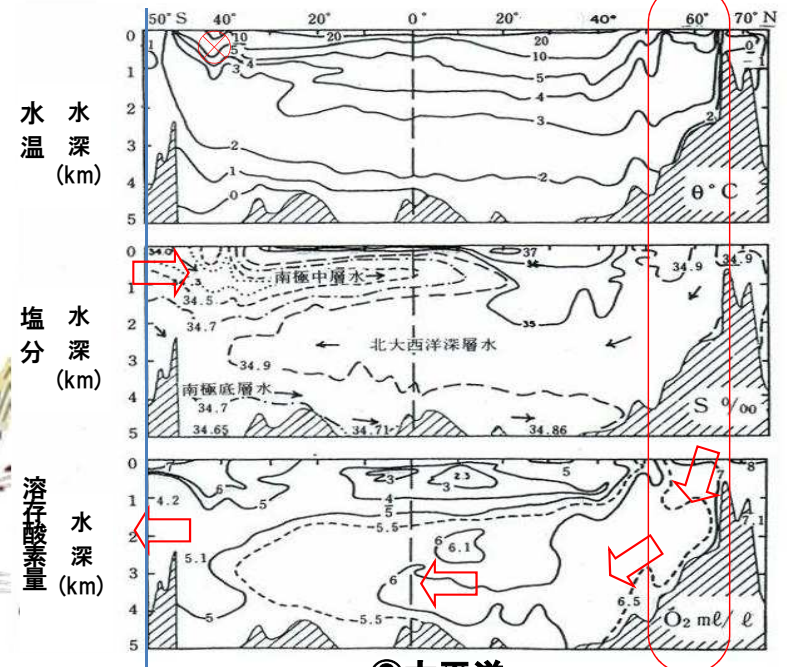


図-3 北極・南極からのトレーサーと水深4,000mの流れ (出典:東大海洋研究所)

①大西洋



②太平洋

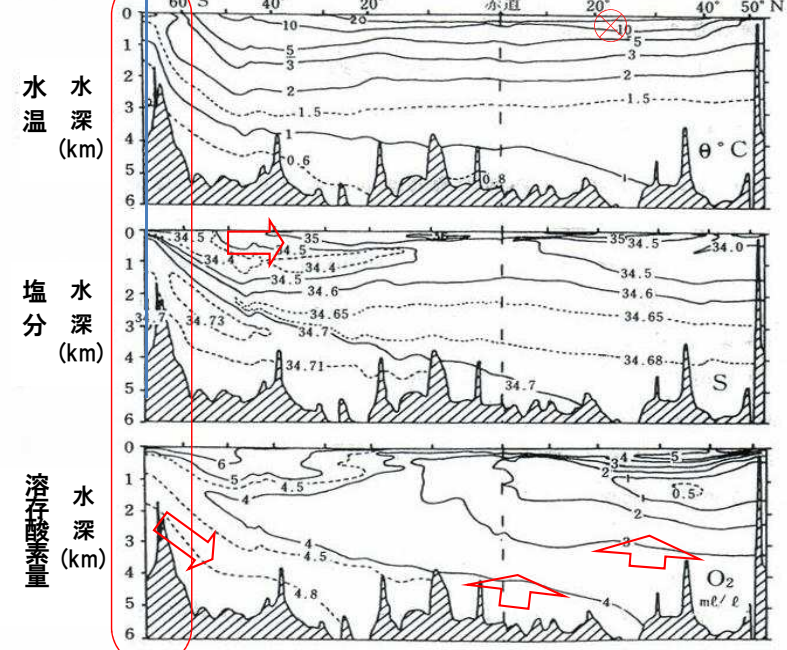


図-2 水質の南北縦断図 (出典:東大海洋研究所)

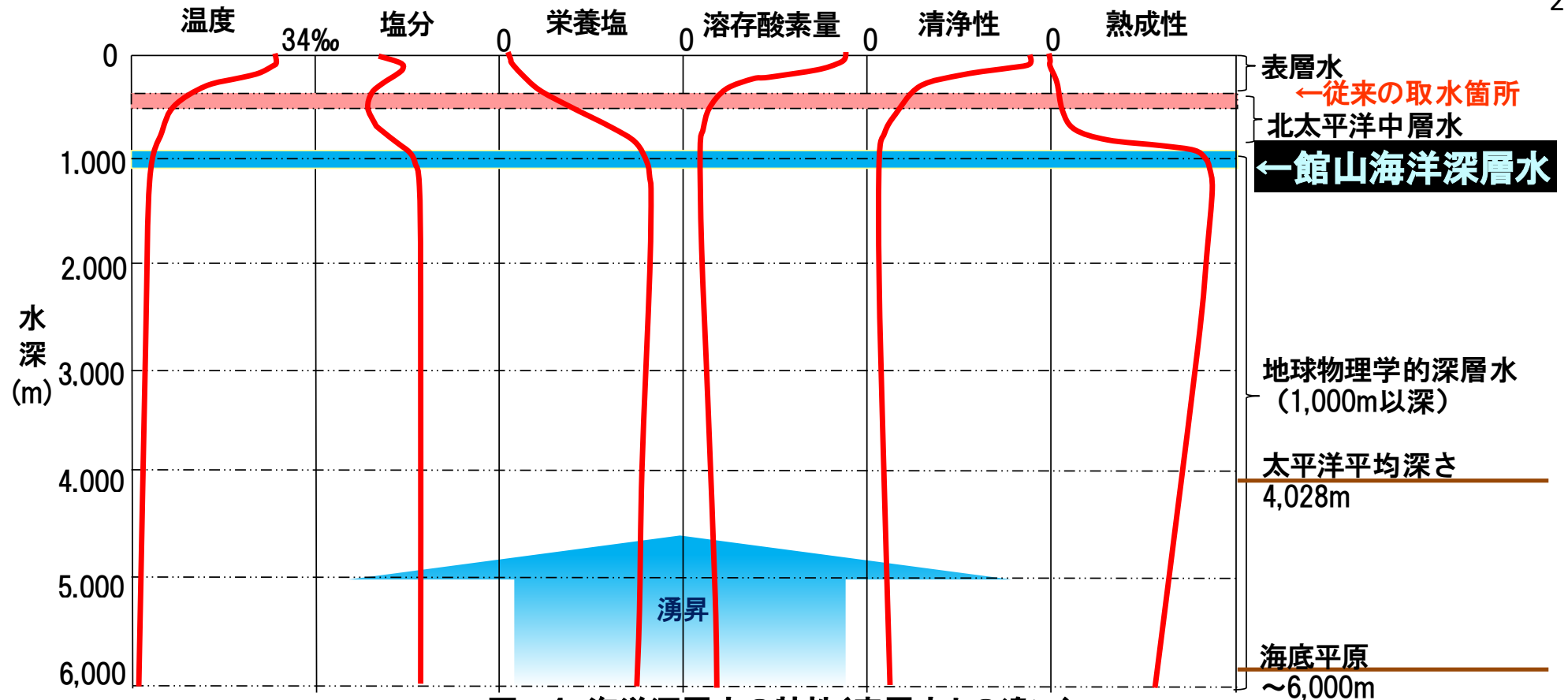


図-4 海洋深層水の特徴(表層水との違い)

- ① 富栄養性……硝酸塩(窒素)、リン酸塩、珪酸塩など、肥やしの濃度が表層水の10~25倍のことを言います。表層水にはほとんど含まれていませんから25倍でも低濃度なのですが、陸上の肥料資源が減少し、注目されています。⇒分離可能
- ② 清浄性……有機物が分解し表層水の1/200程度になっていること、バクテリア・菌類などの一般生物、ウィルス・カビなどの汚染物質、PCB、DDTなどの汚染化学汚染物が含まれないことを意味します。海洋深層水の膜処理、成分分離・捕集コストが大幅に低減します。
- ③ 低温安定性……館山沖の例で、水深1,000mで3.2℃、800mで4.0℃と年間を通じ安定しています。循環再生型で無尽蔵、取水・送水コストの低減とあいまり、技術的課題なくして効果、事業性があります。
- ④ 熟成性……沈み込んでいた二千数百年を言うようですが、実際面で、深層水は溶存酸素量が極端に小さく、PHは表層水の8.2に対し7.6になります。また説明の方便になりますが "クラスターが小さく、溶解力、吸収力に影響(現象)" などもあります。
- ⑤ ミネラル特性…海洋深層水に溶存するミネラル成分が発酵作用に有用なことを言い、ビール、酒、パンなど、食品加工、化粧品、医療・健康分野で効果を発揮します。
- ⑥ 循環再生型・実用上無尽蔵……1m³当たりの付加価値が小さくても、海洋深層水は循環再生型で無尽蔵です。次項の取水コストの低減とあいまり、用途・需要に依存することになります。

(2) 海洋深層水活用法と採算性

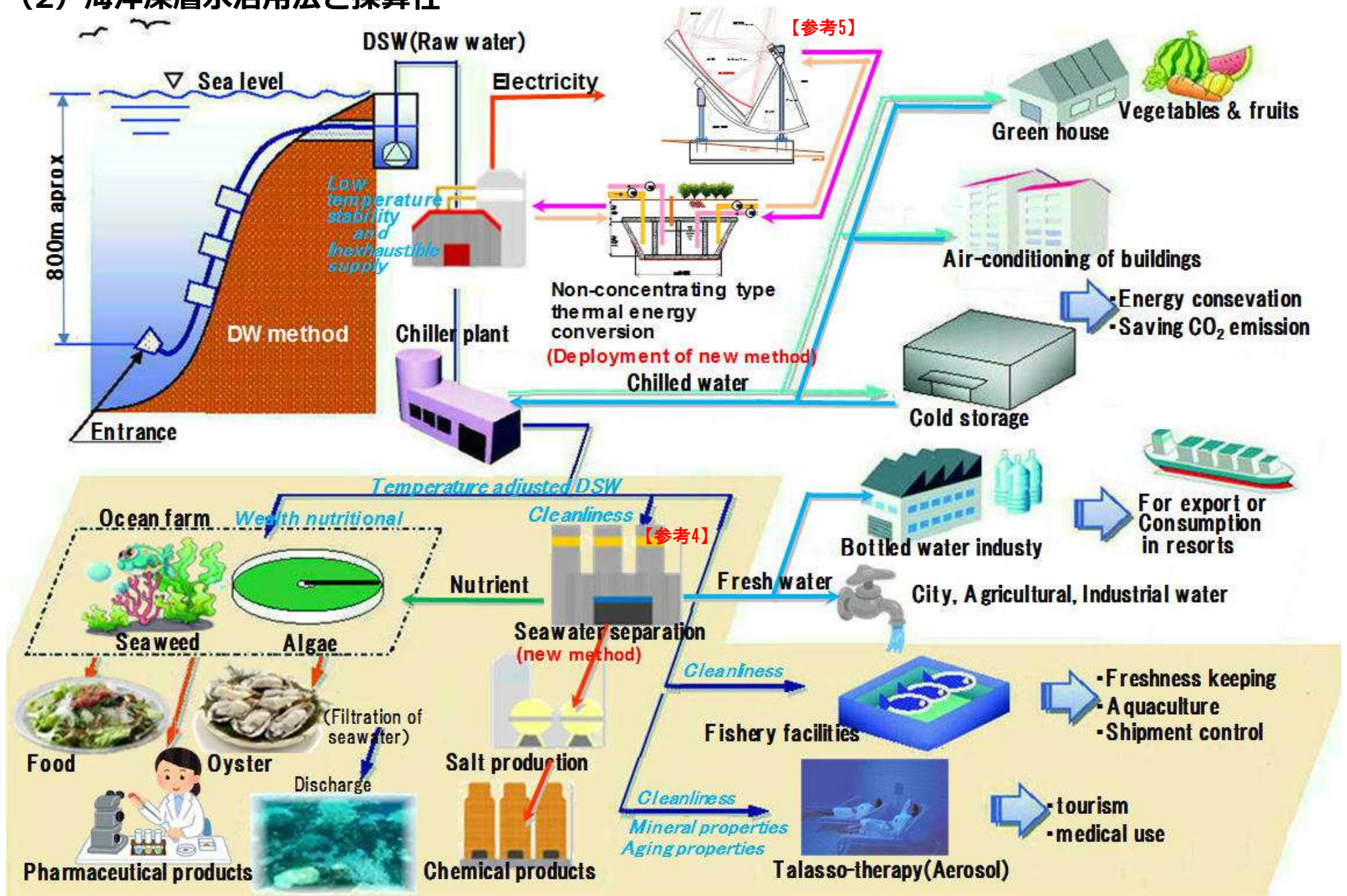
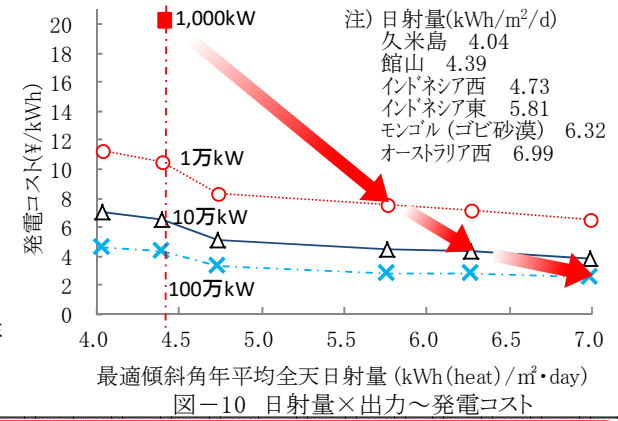


図-5 海洋深層水のカスケード利用

表-1 海洋深層水の経済的価値

分野	従来の問題点	提案	効果
コスト	取水	日本では実績主義で技術開発はなかった。取水コスト 100円/m ³ ⇒図-13	揚水原理、取水管材料、接続工法、敷設工法、取水ピット、取水管防護など、従来と一式更新 取水コスト 1.0円/m ³ 売価…ここではNC-STEC事業に含む。
	送水	スケールメリットが大きい。小規模: 数円/m ³ /km. 大規模: 0.数円/m ³ /km ⇒図-15	大規模な発電所、空調需要の集積により、海洋深層水の需要は数千m ³ /日 地下50mで地温は16℃と安定
冷熱利用	海洋温度差発電	OTECは発電コストが高く実用化に至らず 1.25MW: 120円/kWh(久米島) ⇒“Cool Tokyo (東京を冷やす)”	非集光型太陽熱温度差発電(NC-STEC) (OTECにおける高温側熱源の改良→非集光型太陽熱集熱システム, 低コスト海洋深層水取水工法, スターリングエンジン) ⇒参考5 再生可能エネルギーに基づき、環境にやさしく無尽蔵、24時間・365日連続運転、低コストな基幹電源となる。 発電コストは右図のように日射量、出力規模に依存する。図中■は館山実証プラント、事業展開は日射量に恵まれた海外が良い(発電コストには取水を含み、温排水売価を含まない) NC-STECの採算性が確保されることで、海洋深層水多段利用の全体を牽引することができる。
	火力発電	発電所の冷却水、ガスタービンの吸気冷却 取水コストが高く、未利用	低温による5~20%の発電効率増加 冷却水取水量と冷却系設備の1/3~1/4削減 取水管と冷却装置の生物付着解消で、発電単価の大幅低減
冷熱利用	空調・冷凍・冷蔵庫	取水コストが高く、未利用 魚介類の養殖・蓄養・鮮度保持 魚介類の鮮度保持用の清浄水製造	冷却水の供給 熱交換器を通して、冷却水として利用すると、70%~90%の節電効果 40%前後の節電効果 清浄で融解点(-1.8℃)が低く、塩分調整(1~2%)で温度調節可能(シャーベット製氷機)
	農業	深層水冷熱は未利用、実験段階(ハワイ、久米島、農業試験所)	根域冷却農法 高温障害の解消、高付加価値化、生産量の増加(熱帯でも温帯野菜の栽培が可能)
	養殖・蓄養	一部で実用化、実験段階(ハワイ、久米島など取水箇所)	冷却水の供給 表層水と深層水の混合で海水温度を調節し生産性の向上、高付加価値化 出荷時期調整、高付加価値化
	原水利用	未利用(冷熱利用の排水がない) 温度調整されるので、原水をそのまま使うより処理コストが低減する。	牡蠣の養殖 海藻類の培養(排水の洗浄) 観光等 牡蠣は深層水で培養した植物プランクトンを餌とし、深層水の冷熱で温度調節し、陸上養殖 海水分離後の濃縮栄養塩を利用して藻類(海藻・植物プランクトン)を培養、直接の食用、貝類養殖用の餌料、化学物質抽出、あるいは農業用肥料として利用 海洋療法、ホテルなどのSPA(温浴)施設として利用し、付加価値を高める。
海水分離	淡水	淡水コストは100~300円/m ³ コストから用途は飲料水不足に限定される	海水分離工法 コスト 売価 ROA 淡水 灌漑用水 淡水 16円/m ³ 35円/m ³ 35% 食糧問題に寄与 ⇒参考4 飲料水 飲料水 30円/m ³ 80円/m ³ 35% 水・健康・文化に寄与
	栄養塩	未利用	栄養塩濃縮水 栄養塩濃縮水 25円/m ³ 35円/m ³ 33% 植物プランクトンの生産、肥料問題に寄与
	NaCl他	製塩は伝統技術、コストは固定	ミネラル類濃縮水 ミネラル濃縮水 -円/m ³ -円/m ³ 21% 製塩工程へ(内部取引) ⇒参考3. 4
	ミネラル類含有物	日本の製塩コスト約10,000円/トン 海外の製塩コスト約2,000円/トン 副産物のMg, Kは肥料	製塩、精製方法 海水分離により低価格で高品質の塩が製造可能。TC、CRにより精製(NaCl 99.88%~99.99%) 製塩コスト 1,600円/トン 売価 2,200円/トン ROA 21% 工業塩平均99.66% Mg, Kの精製方法 経済的なMg, Kの分離精製、資源回収、MgCl ₂ コスト 17,000円/ト、KClコスト 17,000円/ト



注)数値は概略設計に基づくもので誤差を含む

(3) 海洋深層水取水サイト

p.1 図-1~3の続き、海洋大循環水は日本海溝へ

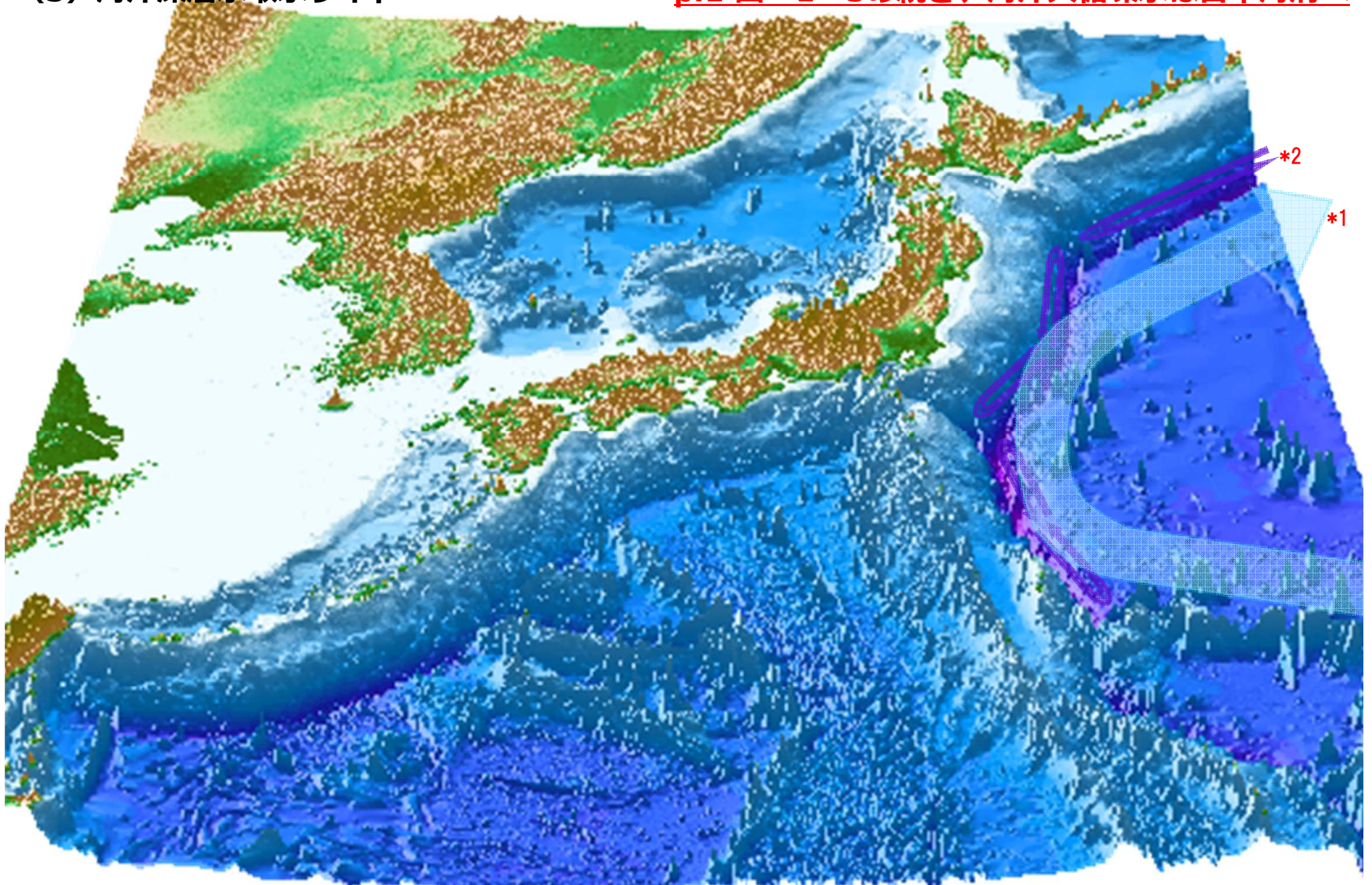


図-6 日本近傍の海底地形と深層海流

注 *1 海洋大循環水 *2 水深6,000mでの流れ(海溝の中で左回り)
出典: 東大大気海洋研究所 ocg.aori.u-tokyo.ac.jp/research/CMER/

海洋深層水は布良海底谷・東京海底谷へ

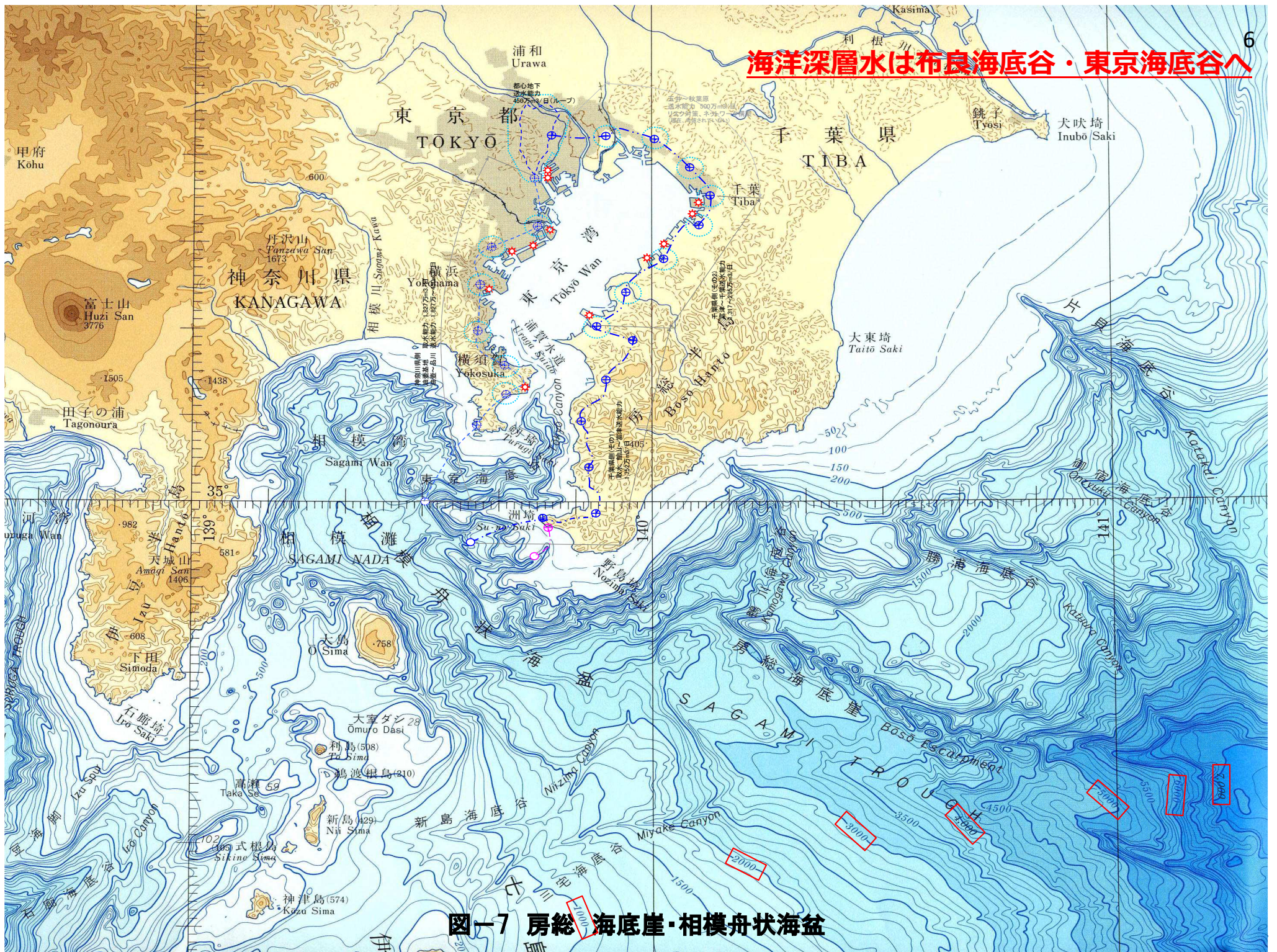


図-7 房総海底崖・相模舟状海盆

2. Cool Tokyo (東京を冷やす) の事業性

ここでは確実に直ぐに売上が期待できる、東京湾沿岸既往発電所への冷却水供給を主目的とし、取水・送水施設を最適化し事業性を確認する。

ビルや工場での冷熱の空調利用に450万m³/日、温排水のカスケード利用は売上に考慮しない。また、都市環境保全、東京湾海洋環境保全、ヒートアイランドの解消などは付随効果となる。

(1) 与条件

表-2 海洋深層水使用量、流量

単位: 万m³/日

	出力(万kW)		LNG-CC		LNG	計	流量
	LNG-CC	LNG	GT	ST	ST		
富津	304.0	200.0	16.7	120.8	194.5	302.4	1,601.9
袖ヶ浦	0.0	360.0	0.0	0.0	350.1	350.1	1,299.6
姉崎	0.0	360.0	0.0	0.0	350.1	350.1	949.5
五井	47.6	141.0	2.6	18.9	137.1	154.0	599.5
千葉	438.0	0.0	24.0	174.1	0.0	155.4	445.5
東電小計	789.6	1,061.0	43.3	313.9	1,031.7		
IPP	260.0	0.0	14.3	103.4	0.0	106.5	290.0
君津共同火力	45.3	82.5	2.5	18.0	80.2	98.8	183.5
自家発電	78.5	54.1	4.3	31.2	52.6	84.8	84.8
千葉側合計	1,173.4	1,197.6	64.4	466.4	1,164.5	1,601.9	
品川	114.0	0.0	6.3	45.3	0.0	46.7	1,488.5
大井	0.0	105.0	0.0	0.0	102.1	102.1	1,441.8
川崎	342.0	0.0	18.8	135.9	0.0	140.1	1,339.7
東扇島	0.0	200.0	0.0	0.0	194.5	194.5	1,199.6
横浜	280.0	52.5	15.4	111.3	51.0	165.8	1,005.1
南横浜	0.0	115.0	0.0	0.0	111.8	111.8	839.4
横須賀	14.4	213.0	0.8	5.7	207.1	213.0	727.5
東電小計	750.4	685.5	41.2	298.3	666.6	974.0	
自家発	35.3	51.5	1.9	14.0	50.0	64.5	514.5
計	785.7	737.0	43.1	312.3	716.6	1,038.5	
都心冷熱需要						450.0	450.0
神奈川側合計	785.7	737.0	43.1	312.3	716.6	1,488.5	
総計	1,959.1	1,934.6	107.4	778.8	1,881.1	3,090.4	3,090.4

3,893.7 ↑ 一部蒸気タービンに多段利用

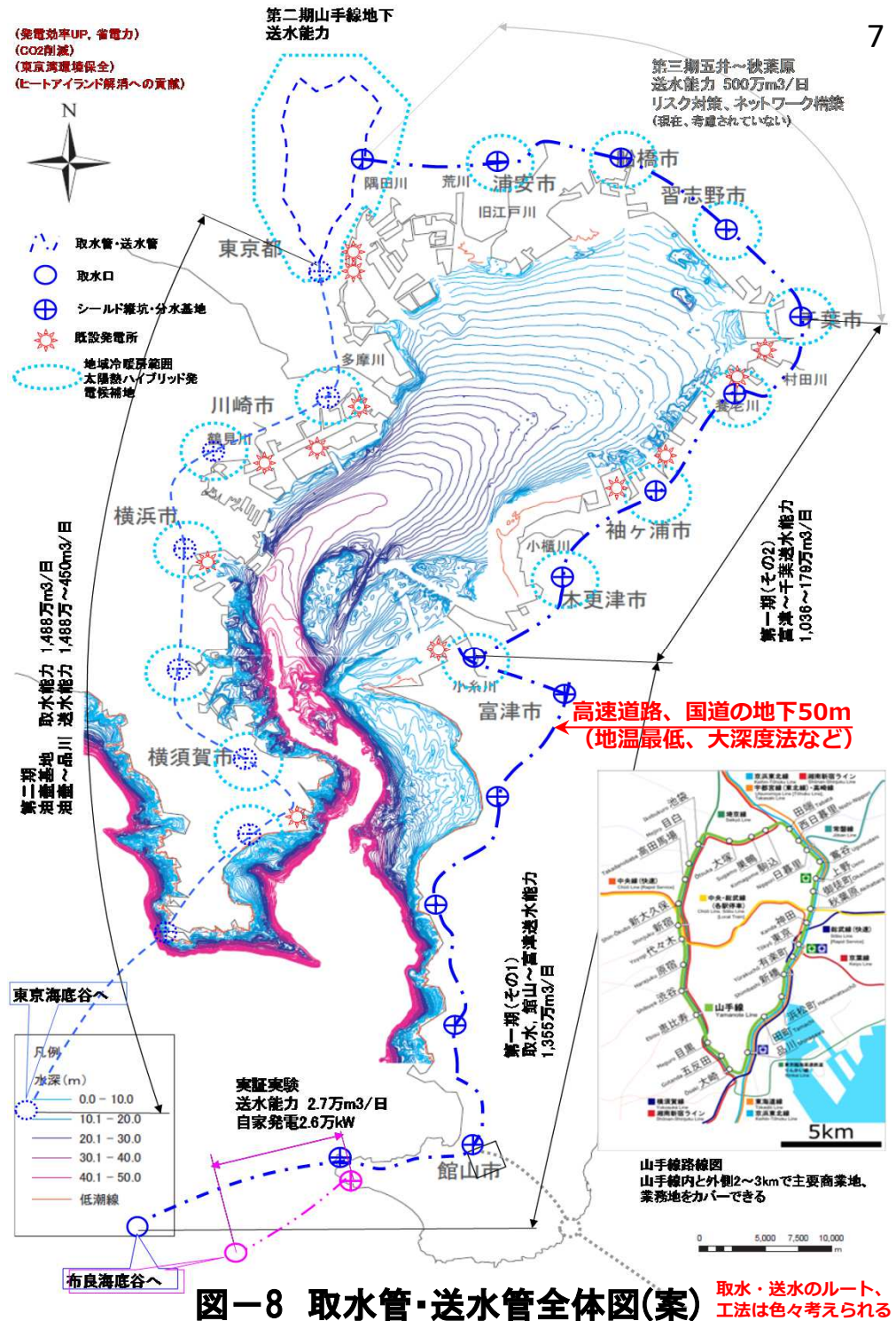


図-8 取水管・送水管全体図(案)

【参考1】 東京湾水温・気温とLNG-CCの出力

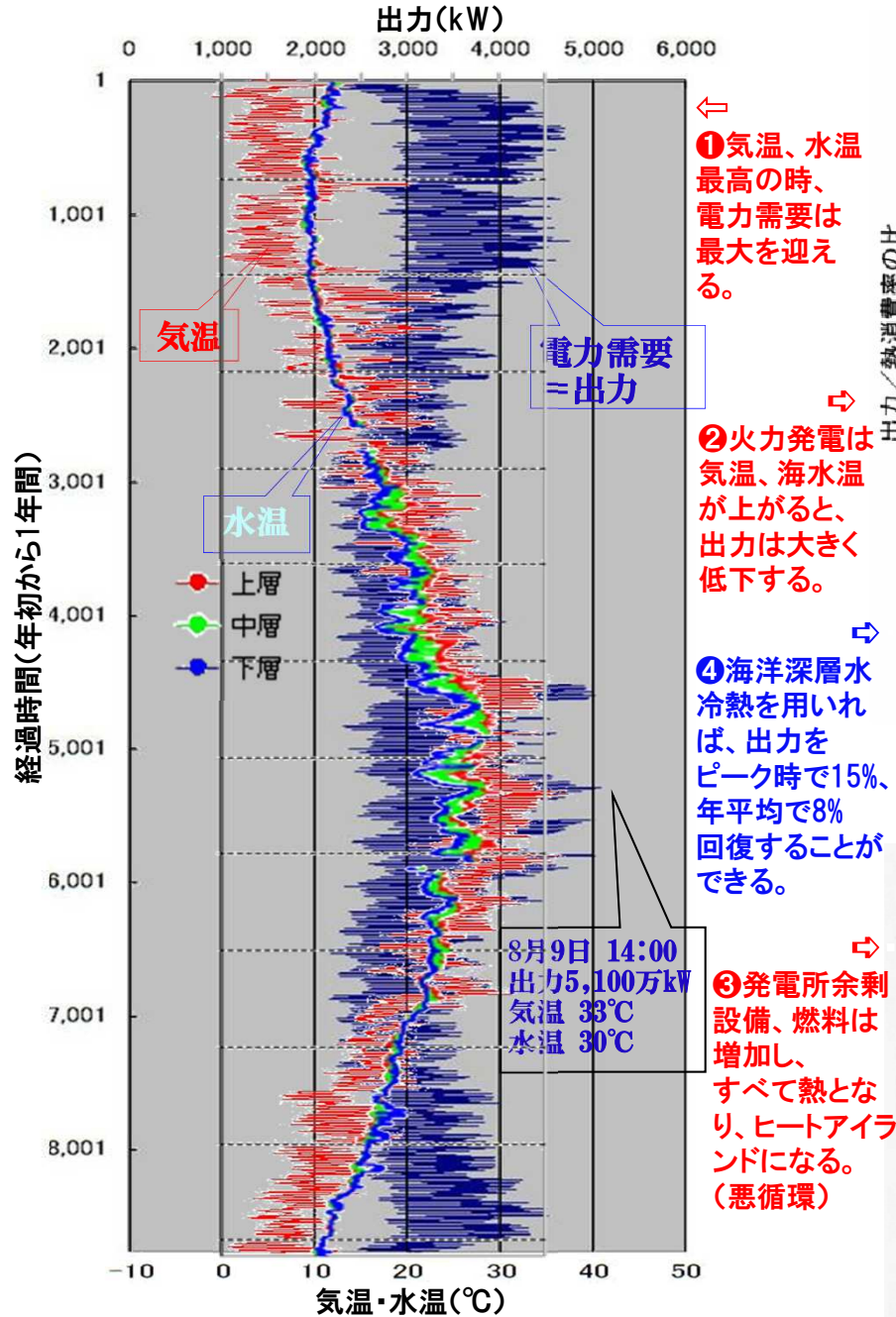


図-9 東京湾の気温、水温の時間変化と電力需要

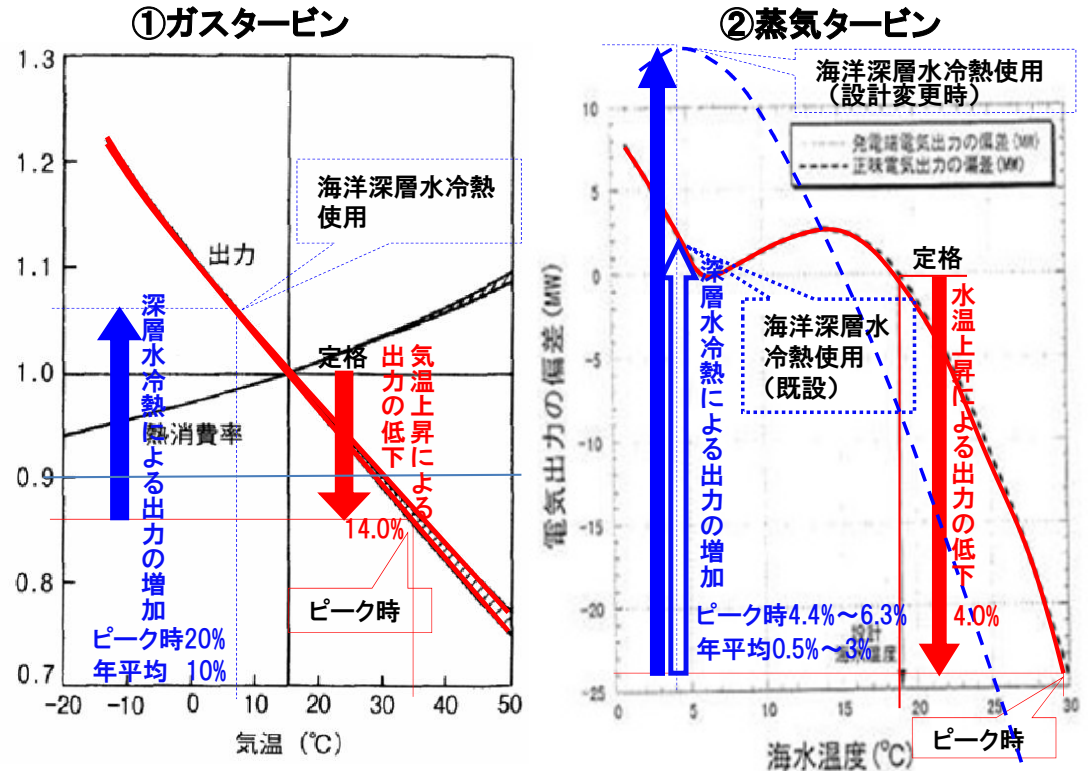


図-11 気温、水温とLNG-CCの出力

出典: タービン・発電機および熱交換器, 火力原子力発電Vol.55 No.11, 2004.11, p.1211

出典: 深層水利用の調査および発電所への適用研究, 電力中央研究所報告(通号 00048) [2001.4]

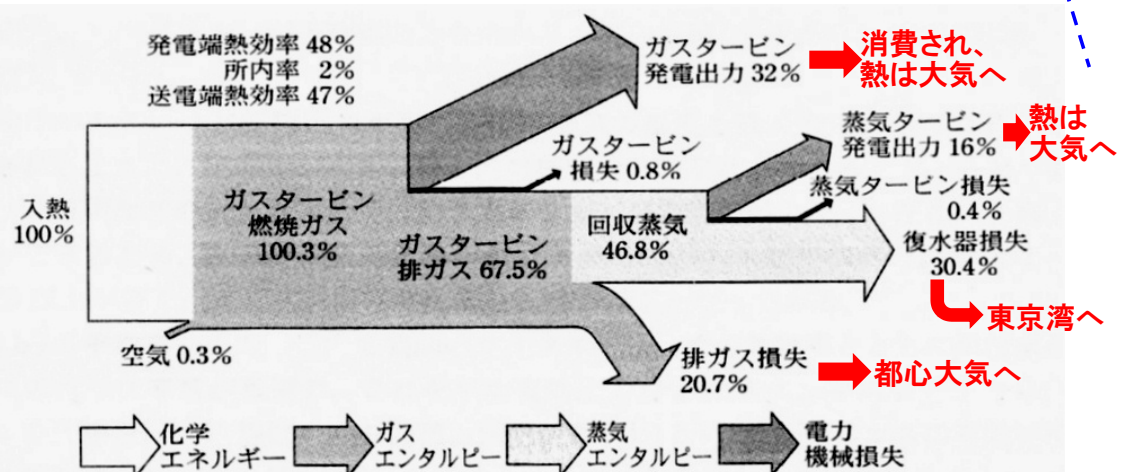
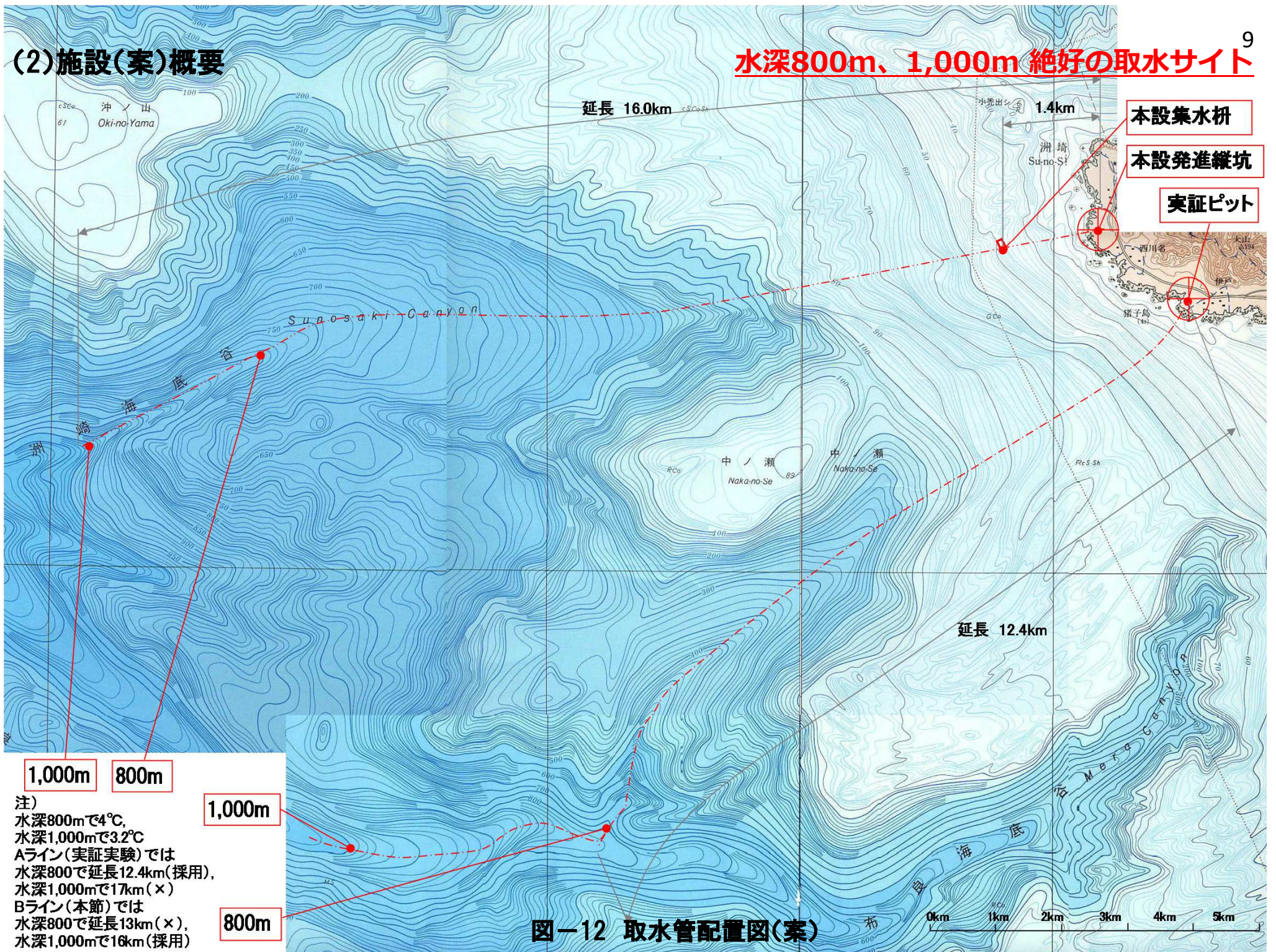


図-10 1,300°C級LNG-CCエネルギーフロー

(2)施設(案)概要

水深800m、1,000m 絶好の取水サイト



本設集水枡
本設発進縦坑
実証ピット

延長 16.0km

1.4km

延長 12.4km

1,000m

800m

1,000m

800m

図-12 取水管配置図(案)

注)
 水深800mで4℃,
 水深1,000mで3.2℃
 Aライン(実証実験)では
 水深800で延長12.4km(採用),
 水深1,000mで17km(×)
 Bライン(本節)では
 水深800で延長13km(×),
 水深1,000mで16km(採用)

0km 1km 2km 3km 4km 5km

大規模取水工法

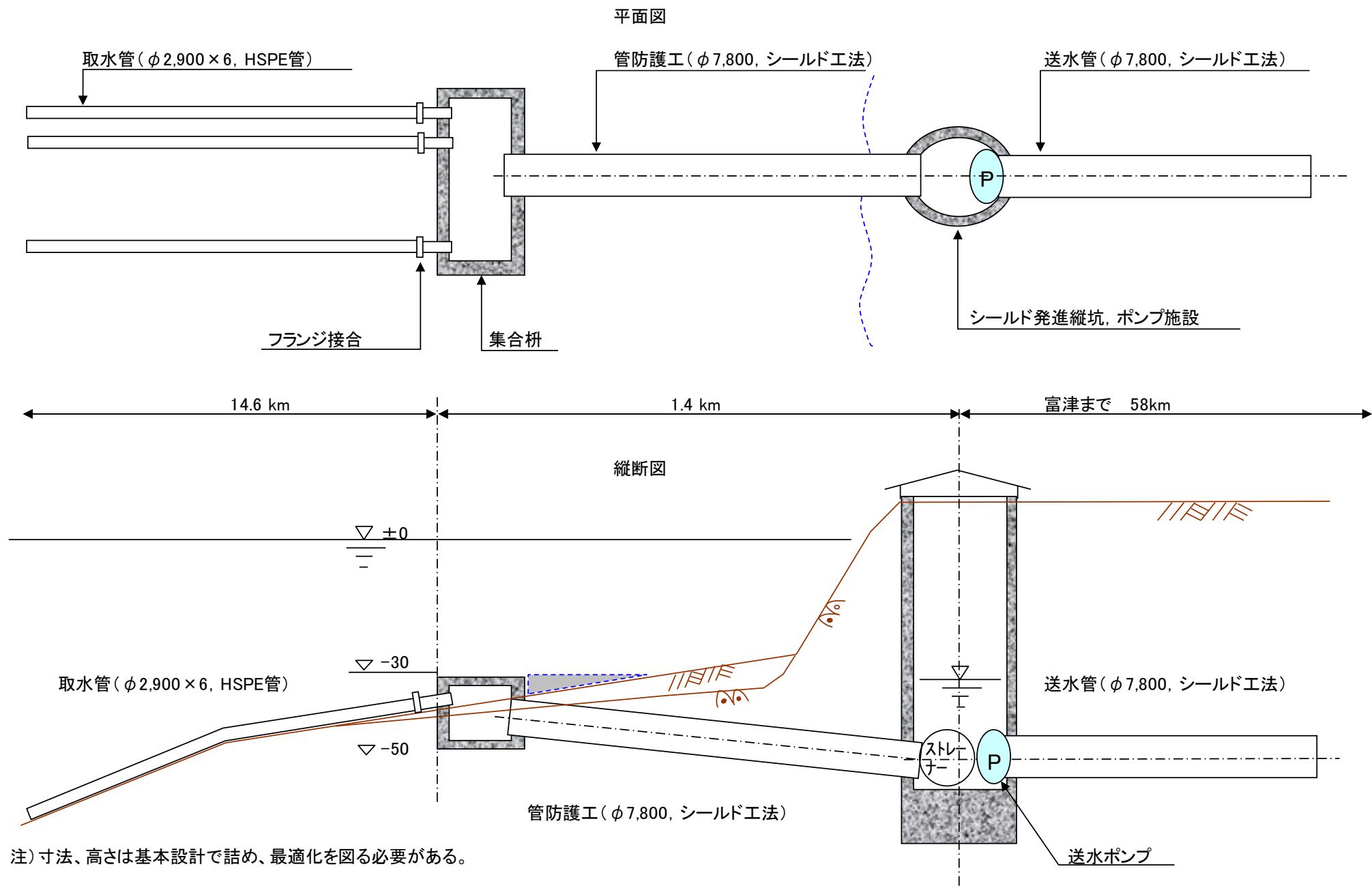
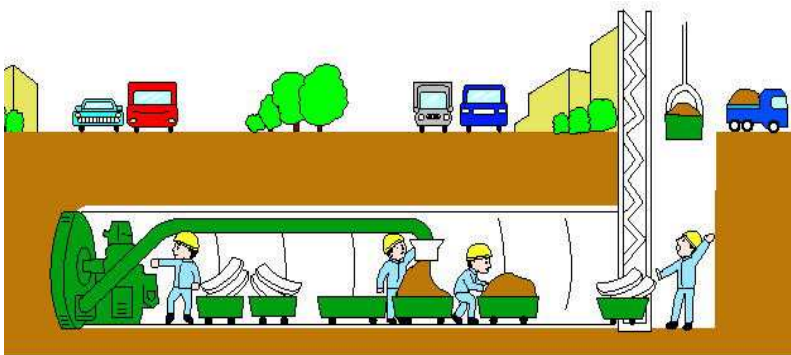


図-13 取水管構造図(案)

日本がコスト的に世界に誇れる技術

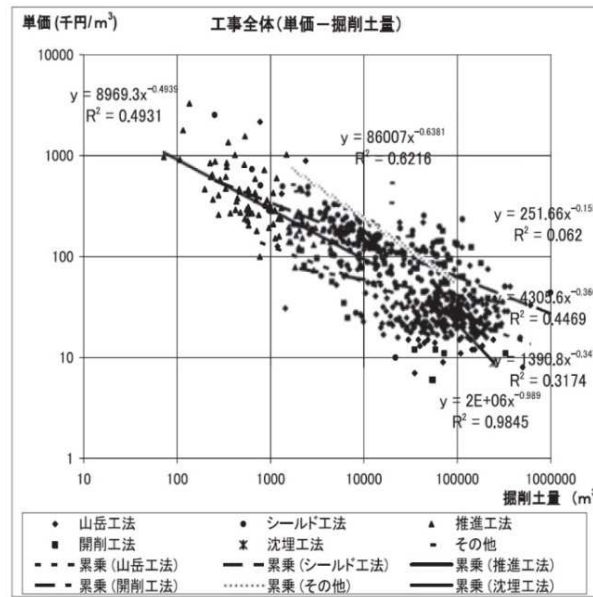


(1) シールドマシン (カッターヘッド)



(2) 掘削イメージ

出典: <https://blog.goo.ne.jp/wagasato/e/921a7fe2cafd77e9fe25b5cf353e8301>



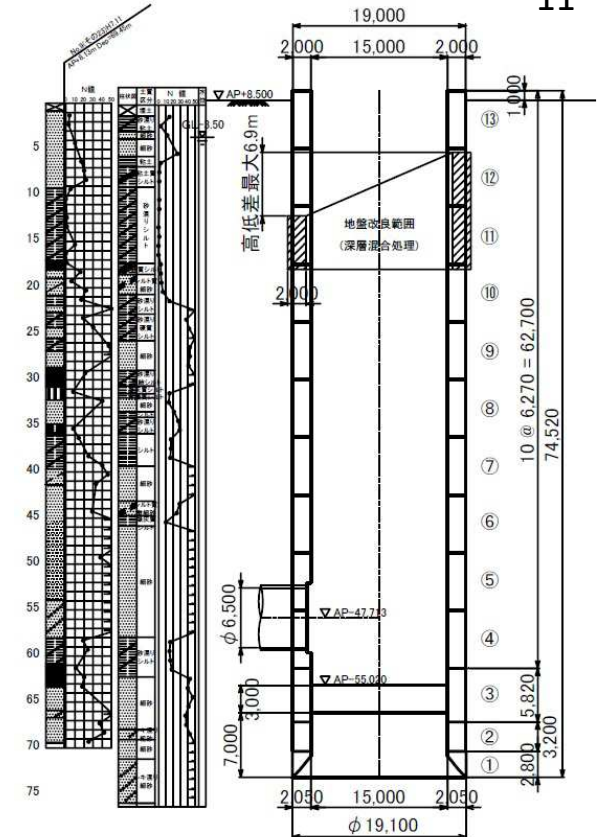
(3) 掘削土量と単価

シールド工法		A	B	R ²	データ数
鉄道	全体	2611.4	-0.3094	0.1066	16
	泥土圧	1910.6	-0.2768	0.0877	14
	土圧式	-	-	-	2
	薬液注入有り	140.59	-0.0437	0.0967	11
	泥土圧	9924.3	-0.4511	0.3391	10
	土圧式	-	-	-	1
	薬液注入無し	9.00E+06	-1.0345	0.0771	5
	泥土圧	1.00E+06	-0.8286	0.0886	4
	土圧式	-	-	-	1
	道路	全体	61676	-0.5322	0.624
水路	全体	9728.1	-0.458	0.5263	122
	泥土圧	10612	-0.4677	0.5759	81
	泥水式	15838	-0.4979	0.5821	27
	土圧式	2913.9	-0.3377	0.2501	13
	薬液注入有り	19416	-0.5357	0.5483	76
	泥土圧	26283	-0.5689	0.5595	54
	泥水式	19020	-0.5244	0.5668	14
	土圧式	3197.7	-0.3547	0.3305	8
	薬液注入無し	4014.7	-0.3593	0.5407	46
	泥土圧	5453.5	-0.3925	0.6694	27
泥水式	9656	-0.4398	0.7232	13	
土圧式	0.1804	0.7957	0.4486	5	

(4) 工事種別係数表

出典: 池原和彦, 工事価格と施工条件の関係分析(トンネル工事記録データを例として), 2009.4

図-14 シールド工法参考図



(5) 立孔 (オープンケーソン)



(6) 施工状況

出典: 鴻池組, オープンケーソン工法での大深度・硬質地盤への挑戦 ~自動化オープンケーソン工法~, 2007

Cool Tokyo 池袋 (東京を冷やす)

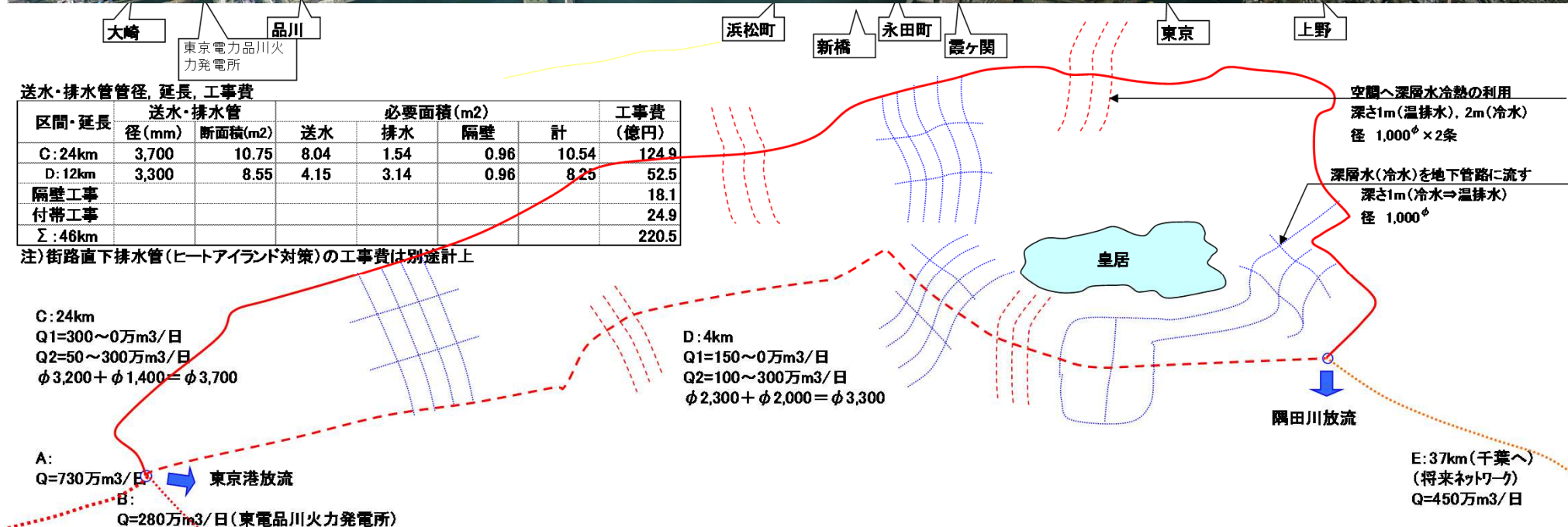
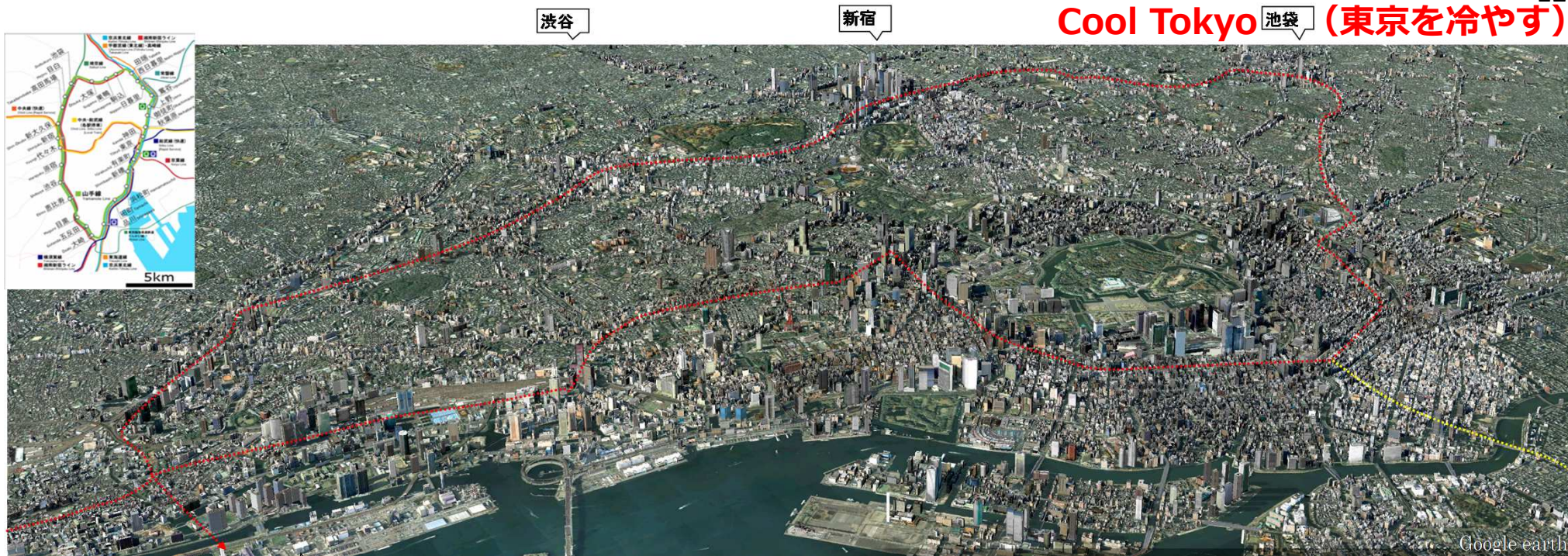
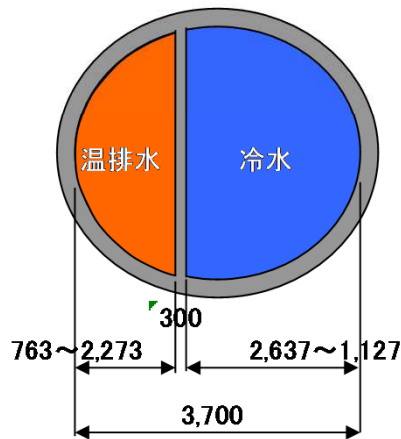
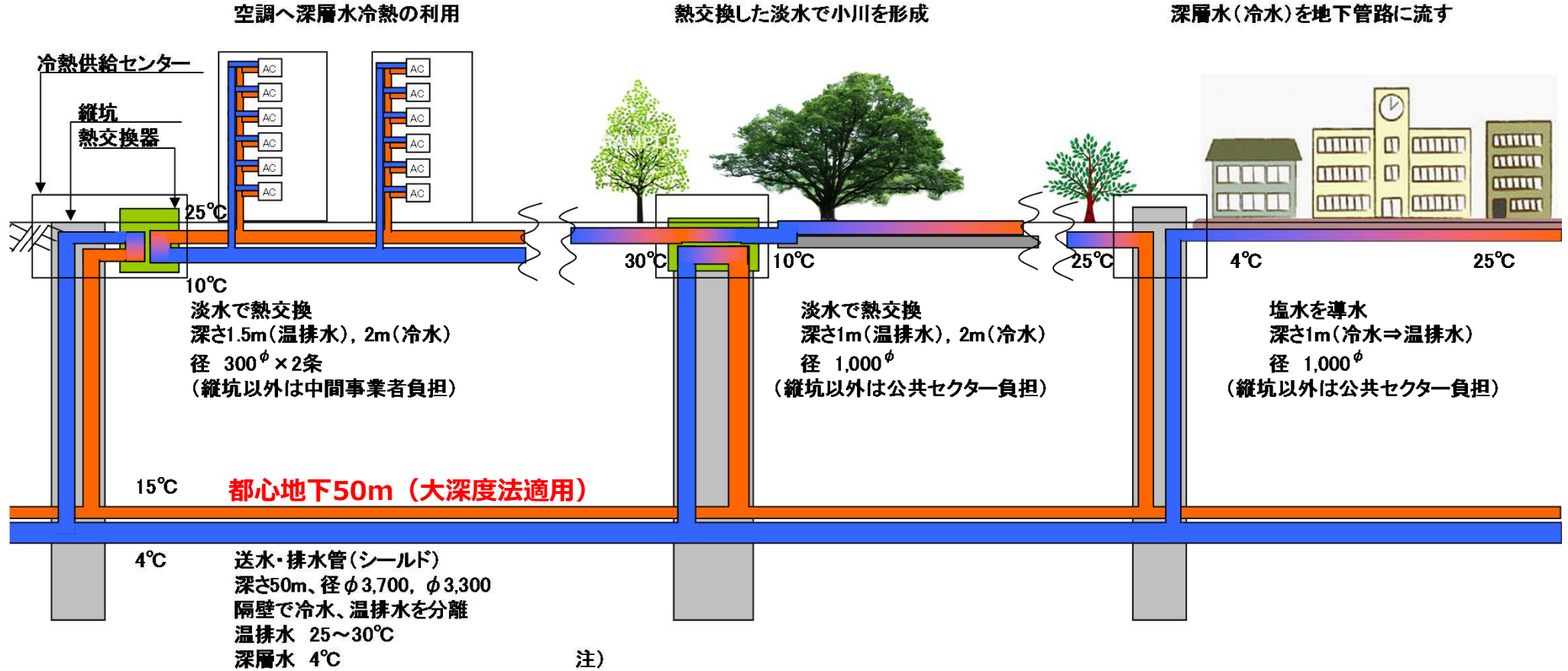


図-15 都心冷却水供給(空調他)全体図(案)

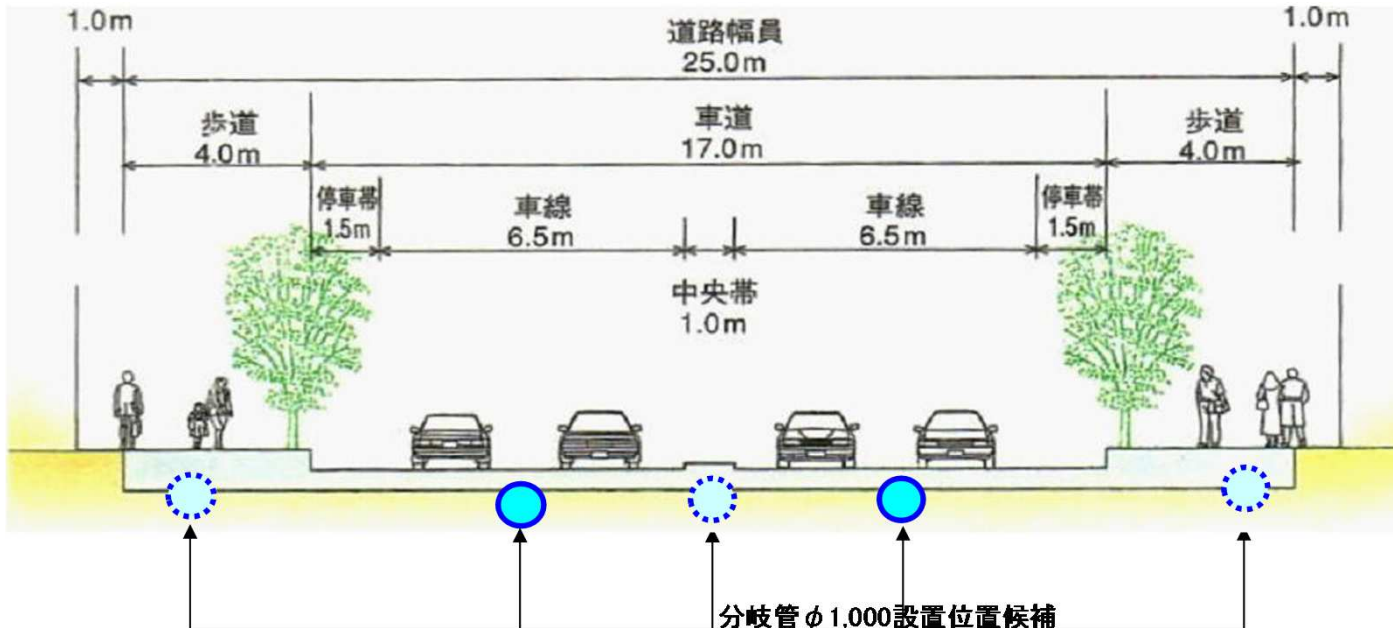
冷熱の空調利用で電力は80~90%減少



- 注)
- 都心に450万 m^3 /日の冷熱を供給することにより、気温を約1.4~1.6°C下げることができる。この時、4°Cの深層水が地上の熱を吸収し30°Cになれば、利用の形態は問われない。深層水の冷熱を吸収する方法として、下記三案の組み合わせが考えられる。
- (1)ビルの空調に深層水を使う方法
これは、空調に要する電力の節約(80%)、同時にヒートアイランド対策にもなるが、空調設備を現在の空冷式から水冷式に変更する必要があり、普及に時間を要する。
 - (2)深層水冷熱により、淡水を冷やし(熱交換器)、公園などの小川に流す方法
環境的に優れるが、熱交換器、小川の整備、循環などに相応の整備費を伴う(地域、環境により、部分的に採用することも考えられる)
 - (3)深層水を地下管路に直接流す方法
整備費的には最も安く、現実的な方法である。深層水供給は事業者ができるにしても、管路整備には公的支援(或いは公的主体)が必要。

図-16 都心空調冷却水供給断面図(案)

都市環境保全



出典: Discover Tomorrow, Tokyo ●2020

東京オリンピック2020に間に合えば良かったのですが、都市環境保全は、今からでも遅くありません。

分岐管φ1,000設置位置候補

PE管の耐荷力は十分

車道の熱を受けやすいところが良い現場により既存埋設物と調整する

水温の上昇

Q=2,442m³/日

T2(t)=	°C	25.05
ここで、		
滞留時間t=	s	41,667
流速	m/s	0.06
延長	m	2,500
T1=	°C	35.00
T2(0)=	°C	15.00
k=	W/m・K	0.80
L=	m	0.05
面積S	m ²	3,454
熱容量	J/K	3,297,000
容量	リットル	785
比熱	J/g・K	4.20
D/2	m	0.50

道路下

分岐管の概要

直径	1.0	m
延長	2,500	m/本
体積	1,963	m ³ /本
時間	11.6	h/本
深層水	2,250,000	m ³
送水管	36,000	m
分岐管	553	本(往復)
	65.1	m置き
	1,382	km
工事単価	5.6	万円/m
工事費	774	億円

都道延長

区分	行政区域面積(km ²)	道路延長(km)	道路面積(km ²)	道路率(%)
区部	622	11,841	101.3	16.3
山手線+3km	197	4,500	48.1	24.4
多摩部	1,160	11,025	74.1	6.4
島しょ部	406	1,476	7.1	1.8
計	2,188	24,342	182.5	8.3

送水総量 4,500,000 m³/日

環境使用量 1/2

1/2は送水・排水管から排水

(冬季は品川火力発電所廃熱を使い温水の供給も可能)

(ヒートアイランド対策としては、流量を如何様にも大きくできるが、事業費との見合い)

T1: 管外側の温度

T2(t): t秒後の管内水温



図-17 分岐管(都心環境保全)断面図(案)

【参考2】 送水コスト、到達温度

1) “水を運ぶエネルギーは流量の3乗に比例する”

上は流体力学の一般的言い方ですが、別の見方をすると、流量の3乗に比例して安くなる、流量が1/10ならエネルギーは1/1,000になる。

シールド技術の進歩は大口径、深さ、延長、掘削速度などで著しく、コストも安くなって来た。

計画流量に対し、シールド径、工事費、送水に要するエネルギー、操業費などの最適化を図ることができる。

館山～千葉 93kmの輸送コストを試算すると、

1万m³/日規模で 72.3円/m³

10万m³/日規模で 42.1円/m³

100万m³/日規模で 28.4円/m³

1,000万m³/日規模で 19.6円/m³

2,000万m³/日規模で 17.7円/m³と、

冷熱の効果(約50円/m)に比べ十分小さい。

(海洋深層水は経済的に運べる)ことが分かる)

2) “冷熱の輸送は2～3km?”

断熱材を巻いた管路φ300を地下2mに埋設しても、冷熱の輸送距離は2～3kmが限界で、殆ど運べないが常識とされてきた。

大口径シールド、大深度、大規模送水を前提にした場合、地温は地下50mくらいで極小値を迎え、年間を通じ約16℃になる。

次頁に取水口(0km)～館山(16km)～富津(58km)～千葉(35km)到着時の水温上昇を示す。

水温上昇は小さく、冷たいまま運べる)ことが分かる。

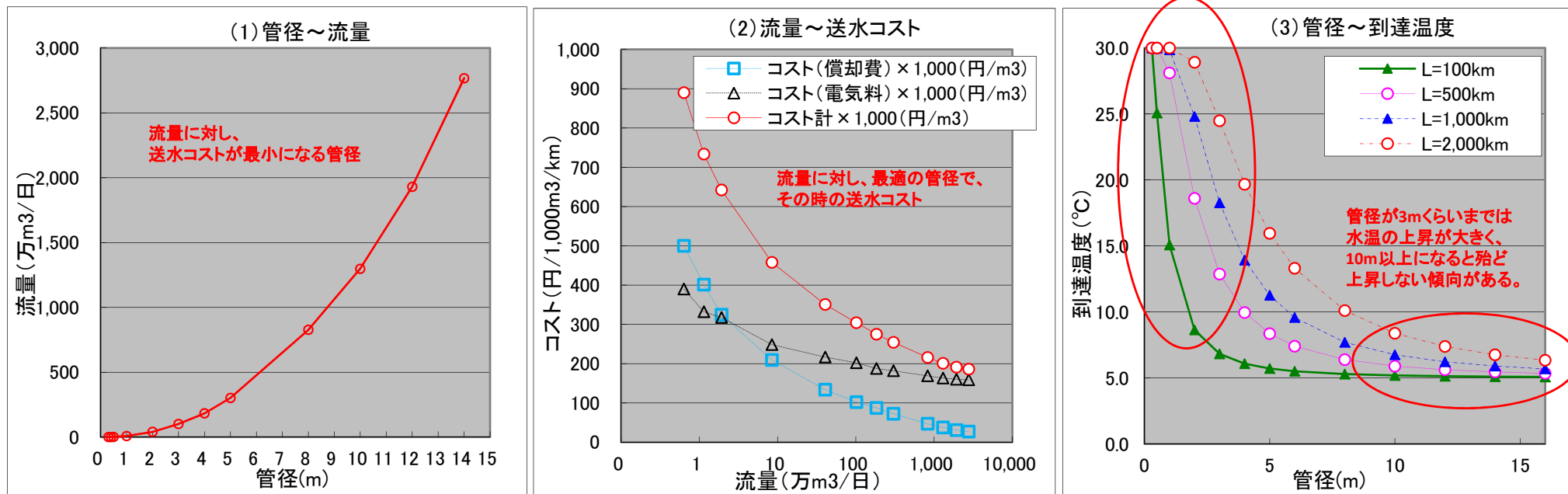


図-18 流量～管径・送水コスト・到達温度

3) 館山取水・都心送水時の水温上昇

水温はフーリエの式で求められる。

$$T_2(t) = T_1 - (T_1 - T_2(0)) \exp\left(-\frac{kS}{CL}t\right)$$

- ここで T1 : 海水、地中温度分布 (海洋調査、産総研資料)
 T2(0) : 初期水温 3.2℃ (海洋調査による)
 k : 熱伝導率 0.8 W/m・K (PE管)
 1.0 W/m・K (コンクリート)
 S : 表面積 S=2nd²+2nd l (単位区間として算出)
 C : 熱容量 C=体積×比熱
 比熱 4.2 J/g・K
 L : 壁厚 シールドの構造から推定できる。

なお、動力は熱に変換されるため、加算する必要がある。

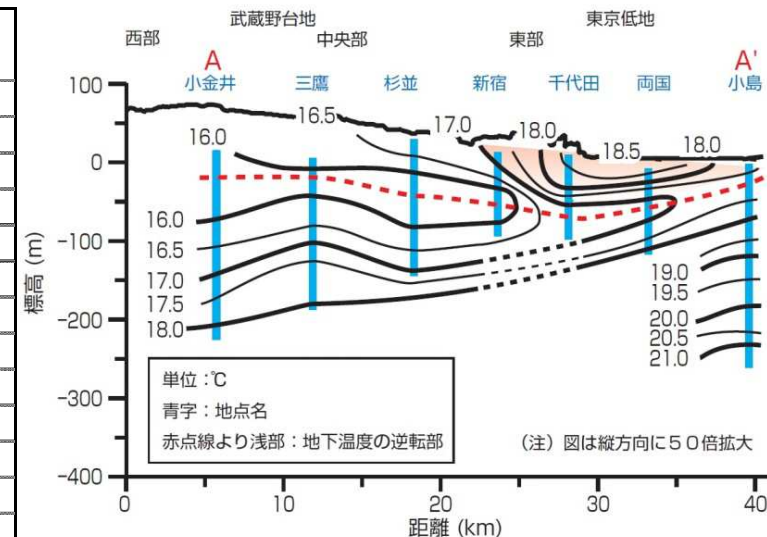
以上から区間ごとの水温上昇を求めると以下ようになる。

表-3 館山取水・都心送水時の水温上昇

		単位	取水管 (PE)	取水管 (集水柵)	館山 ~ 富津	富津 ~ 袖ヶ浦	袖ヶ浦 ~ 姉ヶ崎	姉ヶ崎 ~ 五井	五井 ~ 千葉	備考
送水管壁面からの伝熱	送水管径D/2	m	1.40	4.00	3.90	3.45	2.80	1.90	1.50	
	容量	m ³	6.11	50.24	47.76	37.37	24.62	11.34	7.07	
	比熱	J/g・K	4.20	4.20	4.20	4.20	4.20	4.20	4.20	
	熱容量 C	MJ/K	25.7	211.0	200.6	157.0	103.4	47.6	29.7	
	表面積 S	m ²	10.64	27.00	26.38	23.55	19.47	13.82	11.30	
	壁厚 L	m	0.05	0.70	0.70	0.65	0.50	0.45	0.45	
	熱伝導率 k	W/m・K	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
	延長 l	km	14.6	1.4	58.0	16.5	5.0	8.5	5.0	109 km
	水頭差	m	自然流下	自然流下	50.4	15.9	6.3	18.7	10.5	102 m
	流速 v	m/s	3.28	3.27	3.29	3.21	3.25	3.44	2.95	
動力	滞留時間 t	h	1.24	0.12	4.9	3.03	2.99	2.83	3.29	9.3 h
	外側水温 T1	℃	12.00	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50	
	初期水温 T2(0)	℃	3.20	3.46	3.46	3.50	3.52	3.53	3.55	
	到達水温 T2(t)	℃	3.46	3.46	3.50	3.52	3.53	3.55	3.57	0.37 ℃ (ΔT)
使用電力量	kWh/m ³			0.14	0.05	0.02	0.05	0.03	0.29 kWh/m ³	
水温上昇 Δt	℃			0.12	0.04	0.02	0.05	0.03	0.25 ℃ (ΔT)	
水温上昇累積	℃			0.12	0.16	0.18	0.22	0.25		
計	℃	3.46	3.46	3.63	3.68	3.71	3.78	3.82	0.62 ℃ (ΔT)	



① 深度50mにおける地下温度分布



② A-A断面地下温度分布

図-19 地温分布

出典: 宮越 昭暢, 東京都市圏における地下水・地下熱環境の変化—都市化の影響による地下温度の上昇—, 産総研TODAY2010-04

(3)事業収支および付随効果

売上は年間を通じた燃料の節約分の半分を計上した。投資額3,000億円、売上1,500億円、利益800億円、**ROA27%と採算性に優れる。⇒【補足2】**

発電効率改善、燃料節約、利益、CO₂削減などもさることながら、ピーク時出力の増加400万kW（**LNG-CC建設費で4,000億円**）に注目される。⇒【補足3】
 気温、海水温が最高になる電力需要ピーク時にLNG-CCの出力が維持されることにより、**ブラックアウトの危惧が緩和され、余剰設備を軽減**できる。

なお、海洋深層水により取水・送水管の生物付着がなくなるなど**維持管理費の低減**も小さくない。

	単位	東回り(Case15)			西回り(Case16)			合計	
		東電	その他	小計	東電	その他	小計		
出力	定格	万kW	1,851	520	2,371	0	0	0	2,371
	ピーク時未利用	〃	1,698	461	2,159	1,303	80	1,383	3,542
	ピーク時深層水利用	〃	1,900	543	2,443	1,482	89	1,571	4,014
	深層水増分	〃	202	82	284	178	9	188	472
発電量	未利用	億kWh/年	1,280	323	1,603	1,236	56	1,292	2,895
	深層水増分	〃	95	0	95	79	0	79	175
	深層水使用量	万m3/日	1,355	0	1,355	1,489	0	1,489	2,844
	投資額計	億円	1,323	0	1,323	1,713	0	1,713	3,036
売上	億円/年	774	0	774	769	0	769	1,543	
ROA	%	31%	—	31%	24%	—	24%	27%	
CO2削減量	燃料減分	千トン/年	-5,279	0	-5,279	-4,044	0	-4,044	-9,323
	取水送水(増)	〃	755	0	755	1,067	0	1,067	1,822
	計	〃	-4,524	0	-4,524	-2,977	0	-2,977	-7,501

(1)東回り **表-4 Cool Tokyo(東京を冷やす)事業収支**

		単位	第一期 (富津)	第二期 (袖ヶ浦)	第三期 (姉ヶ崎)	第四期 (五井)	第五期 (千葉)	東回り 計	備考
出力	未利用	万kW	493.2	359.8	359.8	191.5	422.6	1,826.7	定格 1,851 万kW
	利用	〃	535.4	380.4	380.4	199.7	467.0	1,962.9	
	差	〃	42.3	20.6	20.6	8.3	44.4	136.1	
発電量	未利用	億kWh	432.0	315.2	315.2	167.7	370.2	1,600.2	稼働率 100%
	利用	〃	469.0	333.2	333.2	175.0	409.0	1,719.5	稼働率 100%
	差	〃	37.0	18.0	18.0	7.3	38.9	119.3	稼働率 100%
	差(稼働率考慮)	〃	29.6	14.4	14.4	5.8	31.1	95.4	稼働率 80%
投資	取水	億円	87.3					87.3	
	送水	〃	799.0	198.1	46.5	46.0	18.9	1,108.5	
	中継基地	〃	47.0	12.1	4.3	2.6	1.2	67.3	
	排水	〃	2.6	2.2	1.8	1.4	1.3	9.4	
	利便施設	〃	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	熱交換器	〃	19.3	0.0	0.0	3.0	27.9	50.3	
	計	〃	955.3	212.4	52.6	53.1	49.3	1,322.7	
深層水使用量	万m3/日	319.0	350.1	350.1	156.6	179.4	1,355.2		
売上	発電増分	億円/年	325.8	158.8	158.8	63.8	342.2	1,049.4	電力単価 11.0 円/kWh
	燃料費増	〃	-105.6	0.0	0.0	1.9	-152.2	-256.0	燃料コスト 9.5 円/kWh
	送風費	〃	-7.3	0.0	0.0	-1.1	-10.5	-19.0	発電増比 5% 90.2%
	空調等	〃	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	冷熱単価 30 円/m3
	計	〃	212.8	158.8	158.8	64.6	179.5	774.5	発電量増 LNG-CC 10.51%
原価	減価償却費	億円/年	31.8	7.1	1.8	1.8	1.6	44.1	LNG 5.73%
	運用費	〃	4.1	16.3	41.2	32.5	49.0	143.1	燃料増 LNG-CC 5.41%
	管理費	〃	1.1	0.8	0.8	0.3	0.9	3.9	1 LNG 0.00%
	計	〃	37.0	24.2	43.8	34.6	51.5	191.1	
利益	〃	175.8	134.6	115.0	30.0	128.0	583.4		
税	〃	52.7	40.4	34.5	9.0	38.4	175.0	30.0%	
税引き後利益	〃	123.0	94.2	80.5	21.0	89.6	408.4		
ROA		12.9%	44.4%	153.0%	39.5%	181.8%	30.9%		
CO2削減量								kg-CO2/kWh	
燃料減分	千トン/年	-1,580	-782	-782	-485	-1,651	-5,279	CO2排出係数 0.474	
取水・送水(増)	〃	51	77	195	154	278	755		
計	〃	-1,529	-704	-586	-331	-1,373	-4,524		

(2)西回り

		単位	第六期 (横須賀)	第七期 (南横浜)	第八期 (~川崎)	第八期 (~品川)	累計	第九期 (山手線)	合計	備考
出力	未利用	万kW	226.8	114.9	852.4	216.8	1,410.9		1,410.9	
	利用	〃	240.4	121.5	929.9	232.1	1,524.0		1,524.0	
	差	〃	13.6	6.6	77.5	15.3	113.1		113.1	
発電量	未利用	億kWh/年	198.6	100.7	746.7	189.9	1,236.0		1,236.0	
	利用	〃	210.6	106.4	814.6	203.4	1,335.0		1,335.0	
	差	〃	12.0	5.8	67.9	13.4	99.0		99.0	
	差(稼働率考慮)	〃	9.6	4.6	54.3	10.7	79.2		79.2	
投資	取水	億円	565				565.1		565.1	
	送水	〃	201	264	203	76	743.5	239	982.2	
	中継基地	〃	24	21	13	5	63.2	13	75.7	
	排水	〃	3	13	12	12	40.4	0	40.4	
	利便施設	〃	0	0	0	0	0.0	0	0.0	
	熱交換器	〃	1	0	40	10	50.0	0	50.0	
	計	〃	794	298	268	103	1,462.1	251	1,713.3	
深層水使用量	万m3/日	213.0	111.8	500.4	213.3	1,038.5	450	1,488.5		
売上	発電増分	億円/年	105.2	50.7	597.4	118.2	871.5		871.5	
	燃料費増	〃	-4.5	0.0	-193.2	-33.8	-231.5		-231.5	
	GT送風費	〃	-0.3	0.0	-14.9	-3.6	-18.9		-18.9	
	空調等	〃	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	147.8	147.8	
	計	〃	100.4	50.7	389.3	80.8	621.1	147.8	769.0	
原価	減価償却費	億円/年	26.5	9.9	8.9	3.4	48.7	8.4	57.1	
	運用費	〃	2.0	3.4	30.8	23.2	59.4	71.8	131.3	
	管理費	〃	0.5	0.3	1.9	0.4	3.1	0.7	3.8	
	計	〃	29.0	13.6	41.7	27.0	111.3	80.9	192.2	
利益	〃	71.4	37.1	347.6	53.8	509.9	66.9	576.8		
税	〃	21.4	11.1	104.3	16.1	153.0	20.1	173.0		
税引き後利益	〃	50.0	26.0	243.3	37.6	356.9	46.8	403.7		
ROA		6.3%	8.7%	90.9%	36.6%	24.4%	18.6%	23.6%		
CO2削減量										
燃料減分	千トン/年	-454	-228	-1,363	-1,230	-250	-520	-4,044		
取水送水(増)	〃	11	16	211	125	363	340	1,067		
計	〃	-443	-212	-1,152	-1,104	113	-179	-2,977		

【補足1】冷却対象—取水規模の比較検討

表-4の収支に先立ち、東京湾沿岸にはLNG-CCとLNG形式があり、海洋深層水取水規模に応じLNG-CCのガスタービンの吸気冷却・蒸気タービン復水器、LNGの蒸気タービン復水器への、冷却水供給の組み合わせが考えられ、それぞれの概略設計、投資額、発電量の増加、ROA、CO₂削減量などを比較した。全てに冷却水を供給するケースが最も効率的であり、表-4に集計を示した。

表-5 投資額・採算性の比較

1.比較案

資料3-3 比較案改訂版V3(数量変更・最適化)2013.06.20

	必要深層水	増加発電量比較		投資額	ROI	CO ₂ 削減	備 考
	取水量(千m ³ /日)	億kWh/年	億円/年	億円		千トン/年	
冷熱導入無し	—	3.2	35.5				現状吸気冷却を基準
LNG-CC吸気冷却(S4)	433	31.3	343.9	273	16.9%	-185	深層水4.9℃, 吸気温度9.9℃, 熱交換器抵抗考慮
燃料費増			-226.8				熱交換器抵抗の想定は収支に与える影響が大きく(ROIで数%)、実証実験で確認する必要がある。
送風費増			-19.0				
差し引き計			98.2				
LNG-CCのみ冷却(S3)	3,235	52.9	581.4	712	19.1%	-784	深層水3.5℃, 吸気温度8.5℃, 熱交換器抵抗考慮
燃料費増			-256.0				設計水温21.1℃, 深層水3.5℃, 二次曲線で低減考慮 スケールメリットが中途半端
送風費増			-19.0				
差し引き計			306.5				
LNGのみ復水器冷却(S13)	10,317	42.5	468.0	1,495	12.5%	-1,663	設計水温21.1℃, 深層水3.5℃, 二次曲線で低減考慮
燃料費増			0.0				復水器冷却による燃料費の増加はない。 大量送水により深層水温度が異なるため、 ガスタービン発電量、燃料費も僅かに異なってくる。
送風費増			0.0				
差し引き計			468.0				
LNG-CC+LNG(S14A)	13,552	95.4	1,049.4	1,323	26.5%	-2,517	各ケースでは、千葉県内IPPを含まず(取水・送水能力には余裕を持つことが望ましい)
燃料費増			-256.0				現段階での結論 GT吸気冷却の効果・・・定説(OK, 数値は実証を要する) GT吸気冷却現状対策の効果・・・ほぼ正しい(東電資料, OK) GT熱交換器抵抗・・・多めの想定(工夫と実証を要する, OK) 復水器の効果・・・定説(OK, 数値は実機に合わせる必要がある) 発電効率、燃料価格・・・正確なデータが乏しく、実機に合わせる必要がある 取水・送水インフラ・・・スケールメリットの影響が大きく、実証を要する 比較案の選定・・・表中のROIが確保されると想定できるが、不確定な要素で大きく影響するものがあり、最適化の工夫と実証を要する
送風費増			-19.0				
差し引き計			774.5				
備考		80%稼働	発電コスト 11.0円/kWh				
			燃料コスト 9.5円/kWh(燃料単価が高い想定)				
【参考】油壺から都心へ東京湾西岸回り							
冷熱導入無し	—	2.2	24.2				現状吸気冷却を基準
首都圏冷却(S16)	4,500	83.2	914.8	1,462			都心の冷熱需要と一体的に整備することでスケールメリットを得ることができれば、千葉側と同等のROIが期待できる。
燃料費増			-231.5				ここでは神奈川県内のIPPも含めている。
送風費増			-18.9				
差し引き計			664.4		22.7%	-2,312	
冷房節約			147.8	251			冷熱の価格は単価(30円/m ³)、稼働率(30%)とし、 送水量当たりで9円/m ³ で算出
総計			812.3	1,713	21.7%	-3,036	
備考						(5,553)	(単価、稼働率、需要の開拓が課題)
							将来的には、千葉県側とネットワークを構築し、リスク分散を図ることが考えられる。

【補足2】段階施工及び実証実験

本施設ではスケールメリットが大きく、施設の縮小と拡張は難しいため、当初から将来需要に合わせた形で施工することが望まれる。その場合、一番近い発電所から冷熱供給できることになるが、その場合の収支を表-6に示す。館山～富津間は将来投資を含むがROA 12.9%となり、収益性には足りる。

施工は基本的に既往技術であり、新たな技術開発を要しないが、細部にわたり効果を確認し最適化を図るため、実証実験が望ましい。実験規模、および継続的な運用をした場合の収支を表-6右蘭に示す。実証プラントの収益性は小さいが一般的な投資相当である。

表-6 段階施工及び実証実験の事業性

項目	単位	Cool Tokyo Project			実証 実験 (取水) (発電)	計
		千葉側 館山 ～富津	袖ヶ浦 ～	神奈川側 油壺 ～品川		
出力(定格)	万kW	493	1,334	1,523	0.1	3,350
出力増	〃	524	1,416	188	0.1	2,128
年間発電量増	億kWh/年	30	66	79	0.08	175
深層水使用量	万m ³ /日	319	1,036	974	1.7	2,331
(取水・送水量)	〃	1,355	1,036	1,039	1.7	2,395
投資額	億円	955	367	1,713	27.0	3,063
売上	〃	213	562	769	4.3	1,548
諸経費	〃	37	154	192	1.8	385
税引き後利益	〃	123	285	404	1.7	814
ROA	%	12.9%	77.7%	23.6%	6.3%	26.6%

東回り第一期 将来投資を負担するものの、収益性に優れる。

実証プラントも一般的には優良な収支であり、全体の収益に与える影響も小さい。

【補足3】Cool Tokyo(東京を冷やす)は効率的か？

他の形式で発電や空調に対応した場合の比較を表-7に示す。

発電で同様な効果を上げるためには太陽光発電で27倍、LNG-CCで1.3倍(別途燃料費が必要)の投資額が必要となる。

空調で同様な効果を上げるためには、5.3倍のエネルギーを要することになり、冷熱の威力は大きいことが分かる。

表-7 発電、空調で他方式との比較

	太陽光 発電	LNG- CC(A)	冷熱 供給	空調 (B)	(A) +(B)	冷熱 供給
出力		4,000		1,500	5,500	
発電効率のUP		0.1		0.8		
発電量(増加分) ^{*3}	280	280	280			
出力(相当) ^{*4}	2,667	400	400	1200	1600	400
万円/出力(kW) ^{*5}	30	10		10		
工事費相当(億円)	80,000	4,000	3,000	12,000	16,000	3,000
比	26.7	1.3	1		5.3	1
ランニングコスト	小	大	小		大	小

同じ効果を発揮するのに必要な投資額(対象は限定され即効)

同じ効果を発揮するのに必要な投資額(ただし普及に10年)

注) *3 月ごとの平均気温から積算
*4 稼働率LNG-CC:80%, 太陽光:12%
*5 内閣府資料

3. 政策提言

(1) 事業の特性、事業化への工夫

利益は大きいが、**投資も大きく、時間も要する**
(**リスク管理、投資効率上、民間事業に不向き**)

- ① 投資額が大きい、利益も大きく、ROA27%
(日本にはプロジェクトファイナンスはない。)
- ② 発電所冷却水利用、事務所・工場の空調利用などの効果は大きい、誰も事業主体になれない。
(冷熱供給事業は別途事業主体が必要)

温排水売上に時間を要する
(**民間企業は手を出しにくい**)

- ③ 温排水を活用した新産業（海洋深層水カスケード利用）は膨大な付加価値が期待されるが、普及に時間を要する。
- ④ 海洋深層水の普及、営業は公的セクターでは荷が重い(?)

公益性が大きい
(**民間企業は手を出せない**)

- ⑤ 海洋環境保全、ヒートアイランドの解消など、外部効果が大きい。
(外部経済に民間企業が乗ることはない。邪魔なだけ)

事業化準備にも公益性が必要

- ⑥ 許認可、環境アセス、地元調整など事業化準備のウェイトが大きい。(公的支援、位置づけがないと効果的でない)

工夫が必要！

公益性の認定、事業化支援、金融制度など、公的インセンティブがあれば事業化は可能、海洋深層水の便益を国民が広く享受できる。

(2) デフレを脱する新しいインフラ整備

折しも第三期海洋基本計画では海洋深層水の活用に注目され、計画期間内での具現化が求められている。

ここでは東京湾沿岸発電所へ冷却水を供給する事業の、背景、原理、収支、外部経済（波及効果）を示した。

当面は火力発電所の温排水問題解決や省エネに資することができる。脱化石燃料時代(2030年)には、高温側熱源を地熱・太陽熱とすることもできる。

さて政府は未曾有の金融緩和により脱デフレを目指すものの、相変わらず家庭消費は低迷し、企業の国内設備投資は少なく、景気は低迷している。

このままでは日本経済の失われた30年になるかもしれない。

財政政策が求められるが、一方では財政再建の中、公共性が高い事業とはいえ、市場原理に基づき、新しい工夫が求められている。

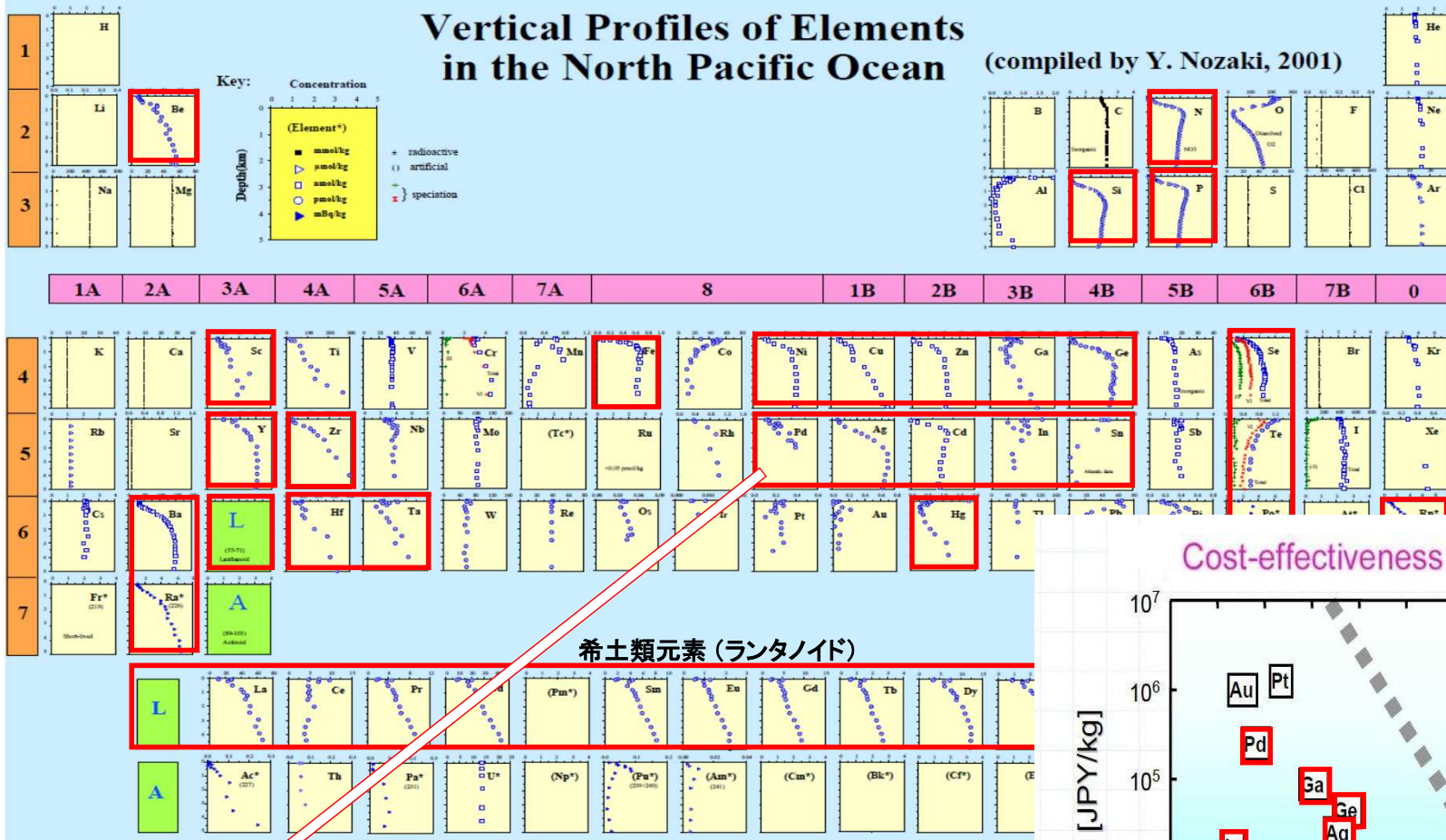
将にこれらに応えるものとして、

日本マクロエンジニアリング学会および海洋深層水利用学会は“**Cool Tokyo (東京を冷やす)**”を政府、関係自治体、金融機関および関係の皆様に提案する。

新しい社会に必要なインフラを見定め、新しい工夫で日本や世界を牽引する魁になりたいと思う。

【参考3】レアメタル、レアアース等の捕集と採算性

低コスト、無尽蔵の鉱脈！



← (2) 海水含有成分の鉛直分布

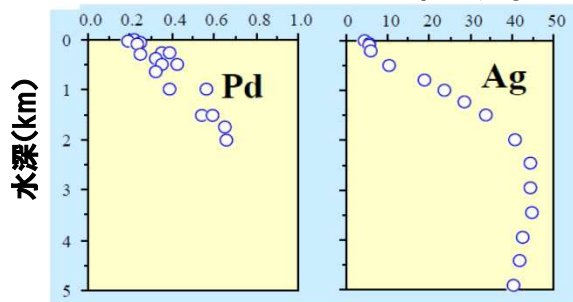
出典：東大海洋研究所

(1) 海水（表層水）含有ミネラル濃度と採算性

↓ 出典：Driscoll et al. MIT Report (1982)に加筆

希土類元素（ランタノイド）

含有量(pmol/kg)



深層水の清浄性、PHは分離コストを大幅に低減する【図-21~23】
赤枠の元素、例えば銀（Ag）の深層水中の含有量は表層水の数百倍、深層水は有望な鉱脈となる。

Cost-effectiveness of minerals in seawater

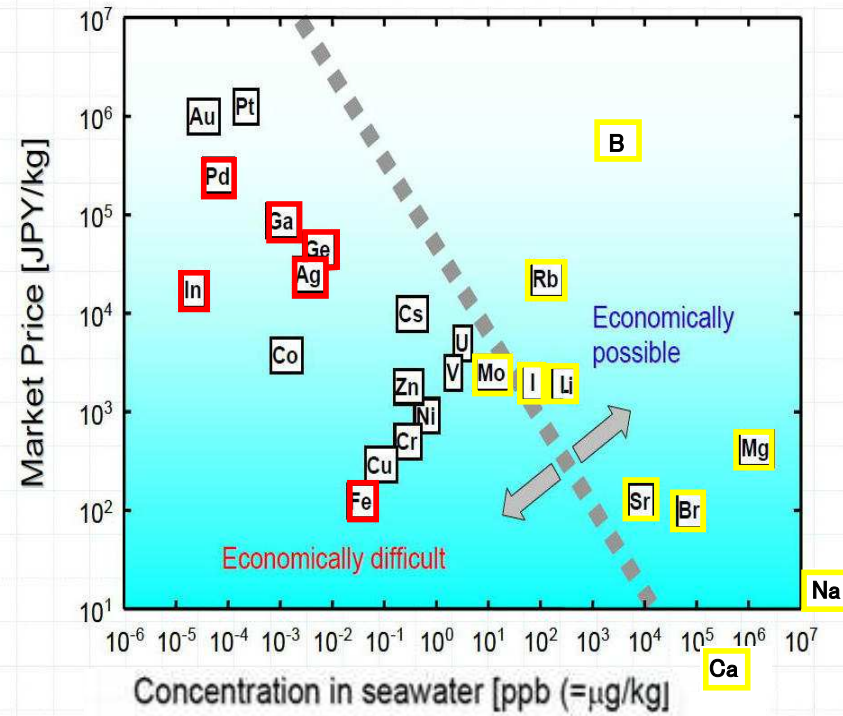
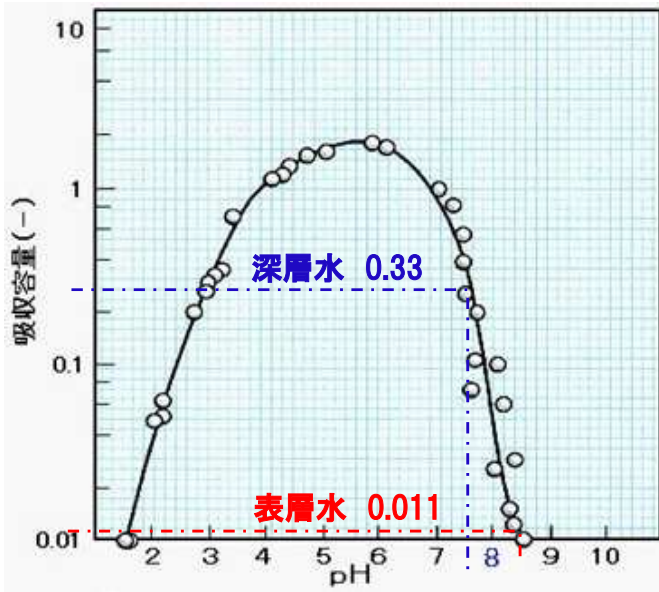


図-20 商業化メタル(含有量×捕集効率⇒採算性)の変化



捕集の主要なコストは電子線グラフト重合捕集材で、捕集容量はpHに依存する。

表層水のpHは7.5~9.5 (8.5)、飽和容量は0.011~0.015、海洋深層水 (水深1,000m) のpHは約7.7、飽和容量は0.33となる。(深層水は表層水の20~30倍)

ウランなどの捕集コストは市価の約2~3倍^{*6}とされるが、海洋深層水で捕集コストが大きく低減する。

^{*6} 玉田他, モール状捕集システムによる海水ウラン捕集のコスト試算, 日本原子力学会和文論文誌, Vol. 5, No. 4, p. 358-363 (2006)

図-21 ウラン飽和吸収量のpH依存性

出典: K.Saito, S.Yamada, J.Men.Sci34(1987)p.307

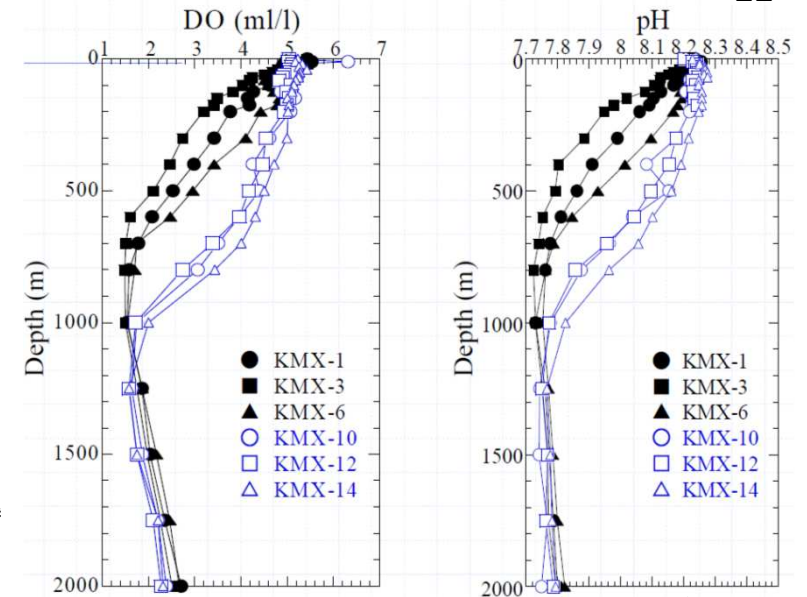
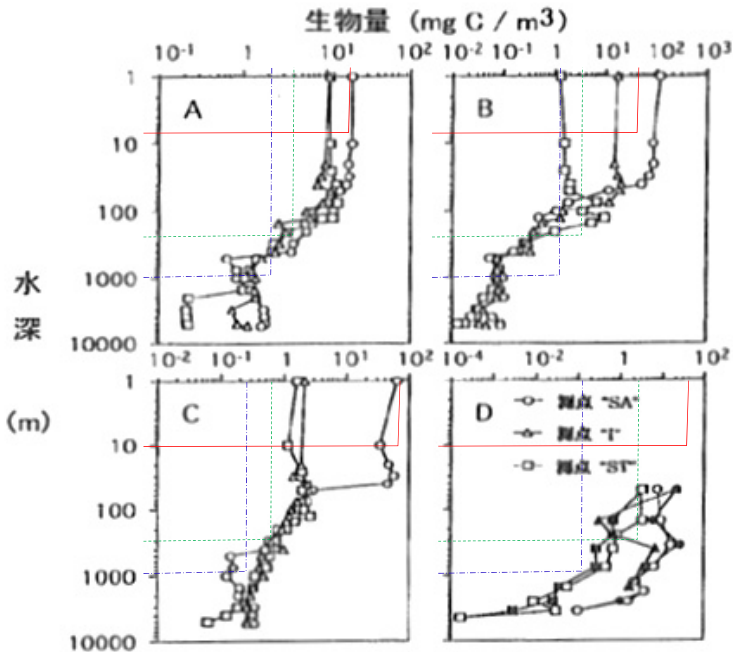


図-22 溶存酸素量とpHの鉛直分布

出典: 東海大学 海洋科学専攻 巒田研究室



全有機物量

	表層	中層	深層
(A)バクテリア	20	3	0.6
(B)植物プランクトン	100	2	0.1
(C)原生動物	100	8	0.2
(D)後生動物	80	2	0.1
粒状有機炭素	2	0.05	0.03
溶存有機炭素	0.9	0.7	0.48
計	303	15.8	1.51
比	200	10	1

有機物量は、
表層水 : 中層水 : 深層水で
200 : 10 : 1

膜処理や捕集コストでは原水の汚れ (有機物量) の影響が大きい。

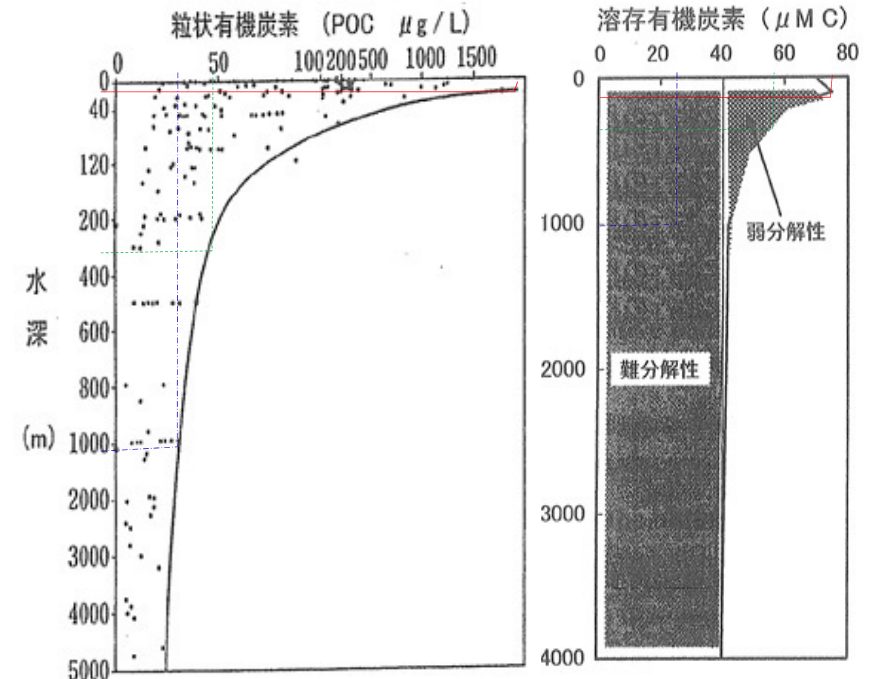


図-23 有機物(分離の際の汚れ)の鉛直分布

出典: 高橋正征・池谷透「海洋深層水の清浄性」海洋深層水研究 3-2 2002.12

【参考4】海水（海洋深層水）分離

現状の造水コストの内訳と深層水による造水コストの推定

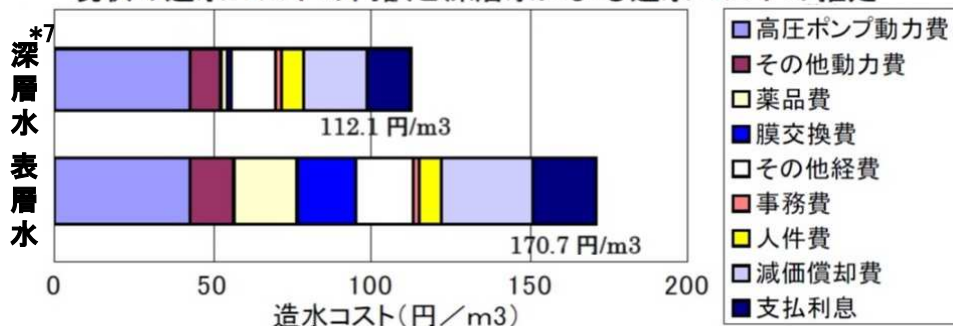


図-24 清浄性による膜分離のコスト低減

出典:「エネルギー使用合理化海洋資源活用システム開発」事後評価報告書, NEDO, H17.3
 注 *7 取水水深 344m…中層(図-23 中層の有機物量は表層の1/20、深層の10倍)

表-8 ED蒸発缶製塩法、提案工法の省エネ比較

工程	単位	従来			提案			備考	
		透析	蒸発缶	計	RO濃縮	蒸発缶	計		
原単位	電力	kWh(電力)	180	100	280				
		〃				79	59	138	
	計		180	100	280	79	59	138	
原価	石炭	トン(石炭)/t(塩)	0.240	0.240		0.142	0.142		
	電力	円/t	2,700	1,500	4,200	1,181	890	15 円/kWh	
	石炭	〃		945	945		0	0	
	計		2,700	2,445	5,145	1,181	890	2,071	5,000 円/トン
かん	塩	kg/m ³	180			260			
水仕	水	〃	820			740		残留水分 260	
様	水/t(塩)		3.1			1.8		蒸発対象比	
電力熱量換算	Wh(熱)/g		800			307		発電効率 35%	
kcal換算	cal/g(塩)		688	1,474	2,163	264	875	1,139	45%
発電廃熱	〃		447			172			
廃熱利用	〃		313			51		効率 70%	
必要熱源量	〃			1,161	1,849		(823)		
原油換算	kL/t(塩)		0.075	0.127	0.203	0.029	0.096	0.125	太陽熱を利用
生産量	万トン/年		10	10		10	10		できる
使用エネルギー	万kL/年		0.75	1.27	2.03	0.29	0.00	0.29	
差	〃					-0.46	-1.27	-1.74	
	〃					-0.75	-1.27	-2.03	>2万kL/年

太陽熱利用の場合

⇐ 清浄性により膜の設備費、動力、維持費は大幅に低減する。(清浄性を極めること(図-9参照)がコスト低減に繋がる)

⇓ RO多段の動力回収、蒸発缶との分担最適化、温度管理により、使用エネルギー・分離コストは大幅に低減し(淡水16円/m³、製塩1,600円/t)、**コストが水・食糧問題を解決**する。

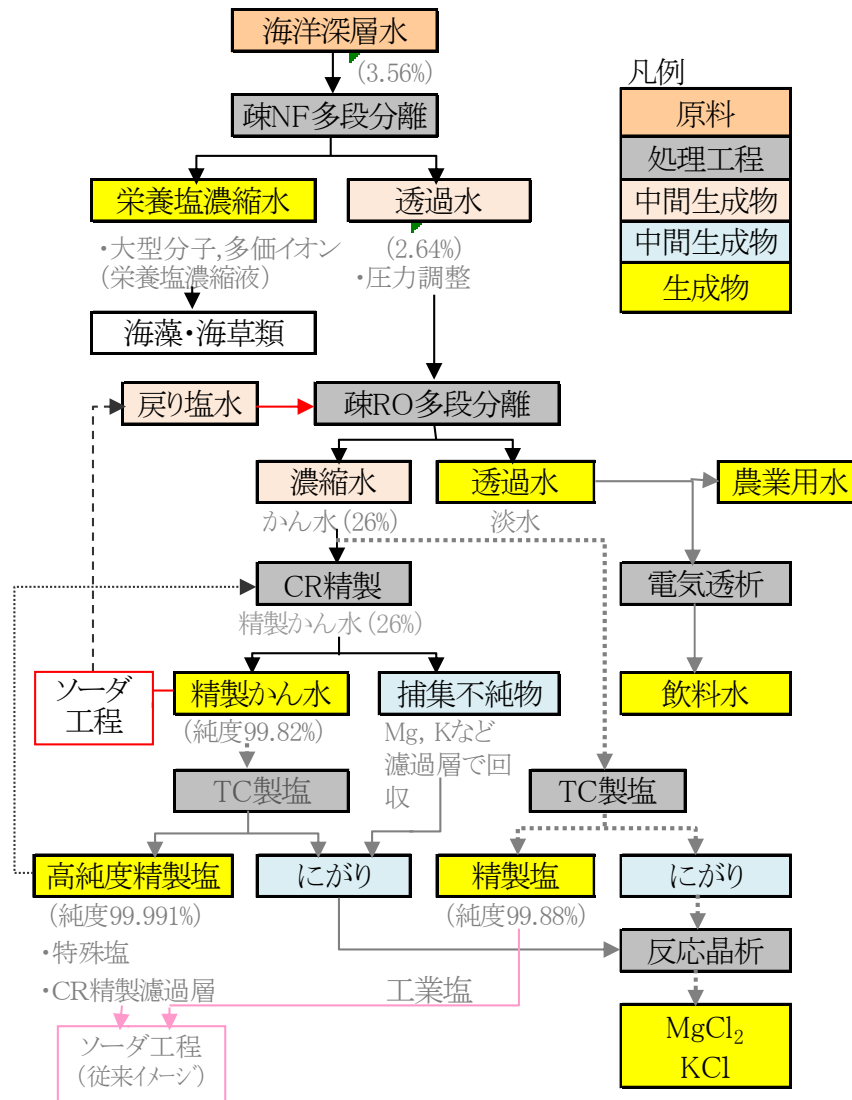
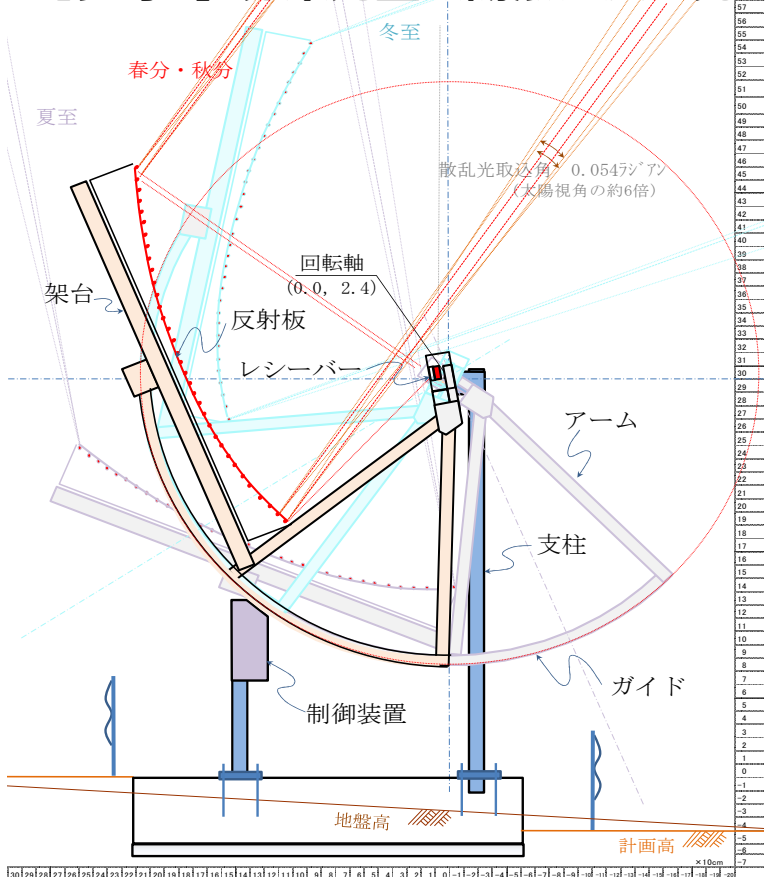


図-25 海洋深層水分離過程

【参考5】非集光型太陽熱温度差発電



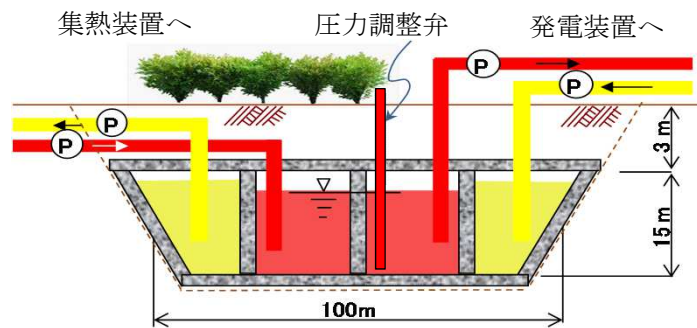
(1)非集光型太陽熱集熱装置



(3)スターリングエンジン(発電機)

↑ 低温用、カルノー効率に近い発電効率を実現 (既往技術, 運用段階)
出典: SunOrbit社 HP

← 集熱温度 (95℃) を下げることで、エネルギーロス、装置費、制御費を大幅に低減できる。(設計段階)



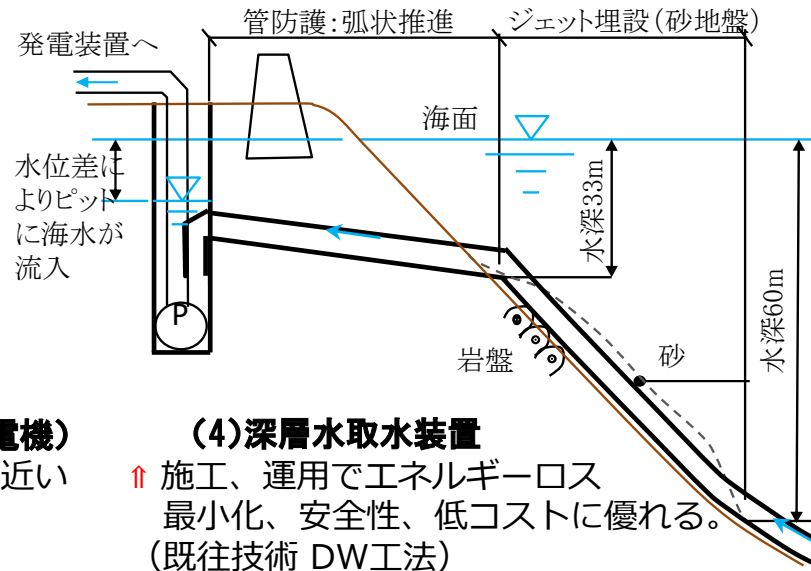
(2)貯水池断面図

← 低温での貯水でエネルギーロスは小さい。実用的な蓄電となり、発電の安定性、負荷追随性を備える。

久米島の条件で OTECと比較

↑ 日射量、規模に恵まれれば発電コストは約3.4円/kWh

安定性、負荷追随性、拡張性、低コストを備える



(4)深層水取水装置

↑ 施工、運用でエネルギーロス最小化、安全性、低コストに優れる。(既往技術 DW工法)

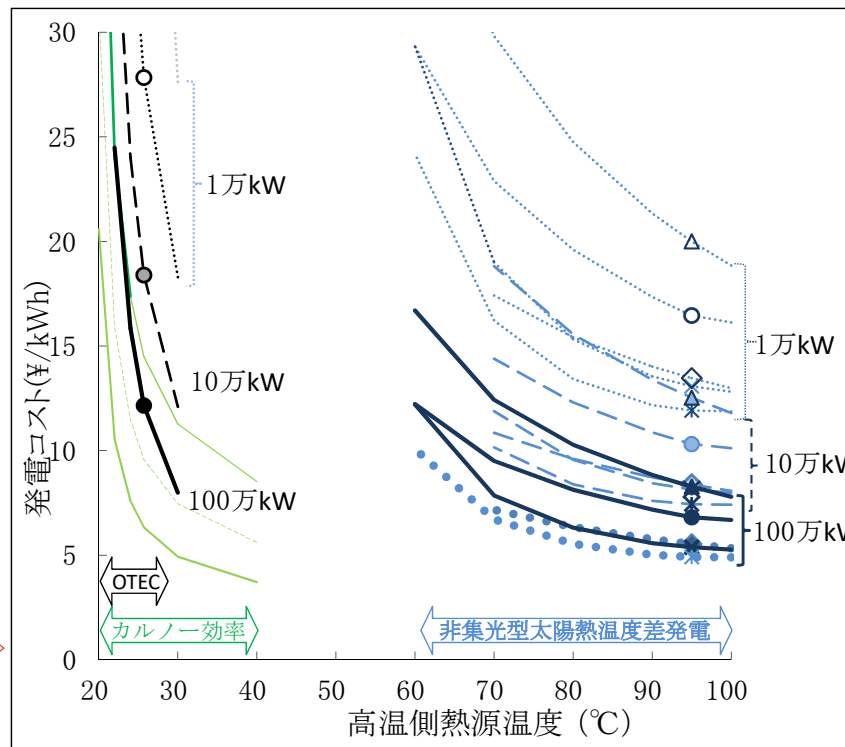


図-27 高温側熱源温度～発電コスト

図-26 非集光型太陽熱温度差発電の構成