

Cool Tokyo and Change the World

(1) 海洋深層水冷却の効用

東京湾には4,000万kW(日本の約1/5)の発電所(右図の☀️は東電)が集積しています。

この発電所の冷却水に海洋深層水(3.5°C)を用いれば、発電効率が改善され、電力需要ピーク時で約500万kWの出力増が見込まれます。更に都心で空調などに使えば150万kW~450万kWの節電が期待でき、都合、約600万kW~1,000万kWの出力増(新設の代替)に相当します。

(2) 収益性

下表は、東京電力の発電所のみ適用した場合の千葉県側、神奈川県側の海洋深層水使用量、増加する出力、年間発電量、及び投資額、収支等をまとめたものです。

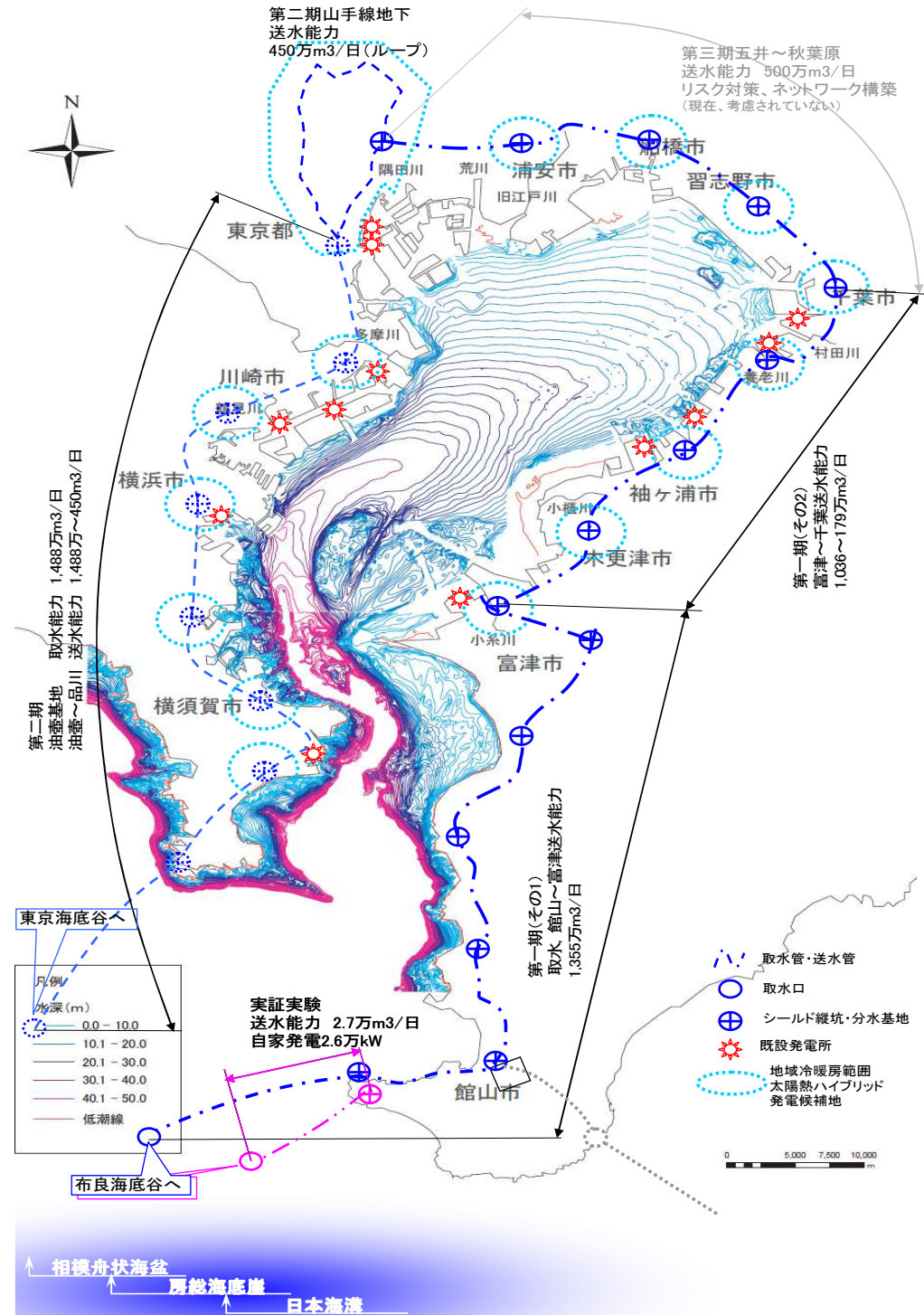
使用水量は東電の発電所で2,400万m³/日、その他発電所や空調など450万m³/日の需要があると想定し、都合約3,000万m³/日、投資額は約3,000億円、ROAで24.3%となり、収益事業としても優れていることが解ります。

冷熱供給事業(取水・送水、東京電力発電所分)収支

項目	単位	Cool Tokyo Project		実証実験 (取水・発電)	計
		千葉県側	神奈川県側		
深層水使用量	万m ³ /日	1,355.2	1,038.5	2.7	2,396.4
出力増	ピーク時	241.6	199.9		441.4
	年平均	140.8	115.3		256.1
年間発電量増	億kWh/年	98.7	80.8		179.5
投資額	億円	1,322.7	1,462.1	51.3	2,836.1
売上	発電量増	1,085.2	888.9	25.2	1,999.3
	燃料費増	-264.7	-224.9		-489.6
	その他土	-19.6	-18.3	25.3	-12.6
	計	800.9	645.6	50.6	1,497.1
諸経費	減価償却費	44.1	48.7	2.1	95.0
	運用費	143.1	59.4	23.2	225.7
	管理費	3.9	3.3	0.2	7.3
	計	191.1	111.5	25.4	328.0
営業利益		609.8	534.1	25.1	1,169.1
税(40%)		243.9	213.6	10.0	467.6
税引き後利益		365.9	320.5	15.1	701.4
ROA		27.7%	21.9%	29.4%	24.7%

注) 売上は増加発電量×11円/kWh(東電のIPPからの仕入価格に準ずる)。工事費等は統計資料(構造・施工は既往技術の組合せ)から概算。工程他詳細は別紙参照。ディテールを最適化するため実証実験が必要。実験設備は発電及び温排水の多段利用で商業運転が可能。都心冷却では取水・送水能力は織り込み済み、別途、都心街路における送水・分岐管工事などで約1,000億円(概算)が必要。

Cool Tokyo 計画図

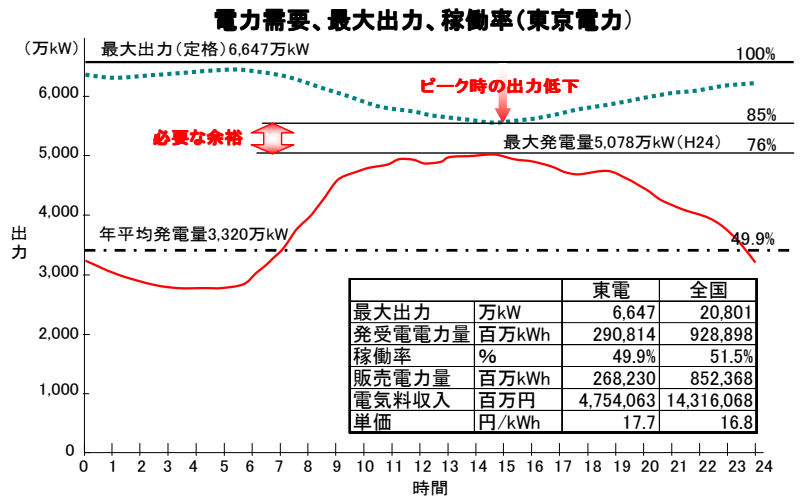


着眼点と技術的根拠

(1) 発電所の必要出力と稼働率

電力の需給でシリアスなのは、ブラックアウトで（需要が発電能力を超えると安全装置が起動、電力系統ごとに全てを停止、回復までに甚大な被害が生ずる）、電力需要のピークに合わせて発電所を建設する必要があります。

右図は東京電力における電力需要（日変動）、定格出力と稼働率ですが、最大出力に対し、ピーク時の最大発電量は76%、年平均稼働率は49.9%と大きく乖離しています。ピーク時の出力低下と必要な余裕幅、都合24%が大きいことが解ります。



(2) 発電の特性(弱点)

実は、夏の最も暑い時は空調の需要が多くなり、電力需要もピークに達するのですが、この時、発電所でも吸気温度、冷却水温度が高くなり、発電能力は低下します。

発電所ではこの低下を見込んだ出力で需要を超える(+所定の余裕)必要があります。

【参考1】出力～温度特性から、吸気温度、海水温度が上がると発電効率は急激に下がりますが、海洋深層水冷熱を使うことで大きく回復することが解ります。

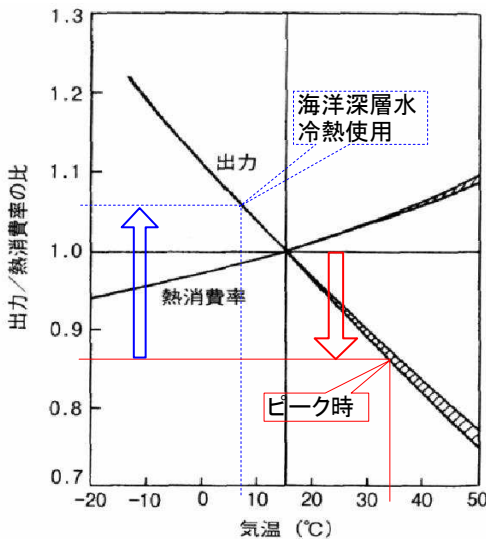


図2-8 出力と効率の大気温度特性

出典) 入門講座「タービン・発電機及び熱交換器」IV. ガスタービンの性能と構造, 火力原子力発電Vol.55 No.11, 2004.11

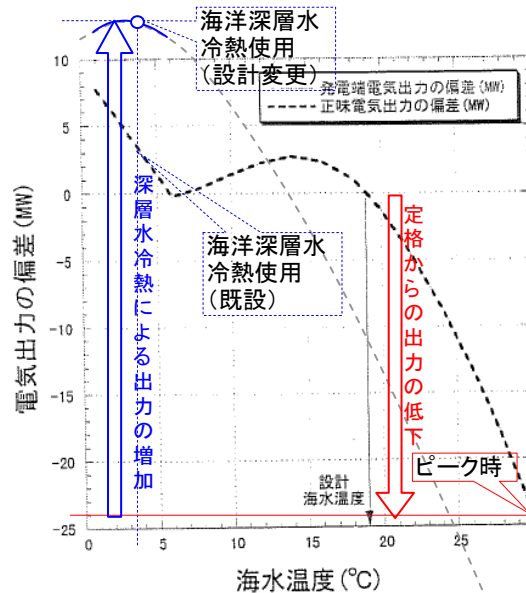


図3. 1.3-3 表層水利用プラントでの発電端電気出力・正味電気出力の設計点からの偏差

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2001.4

左図(左)はガスタービンの吸気温度と出力の関係ですが、ほぼ線形的に変化、夏期最高温度を35°C、海洋深層水で冷却した後の気温を8.5°Cとすると、両者の出力は23%の差(1.06/0.86=1.23)になります。

右図は蒸気タービンの冷却水の海水温度と出力偏差(基準60万kW)の関係で、設計温度に対し海水温度が上昇すると急激に発電効率が落ちることが解ります。

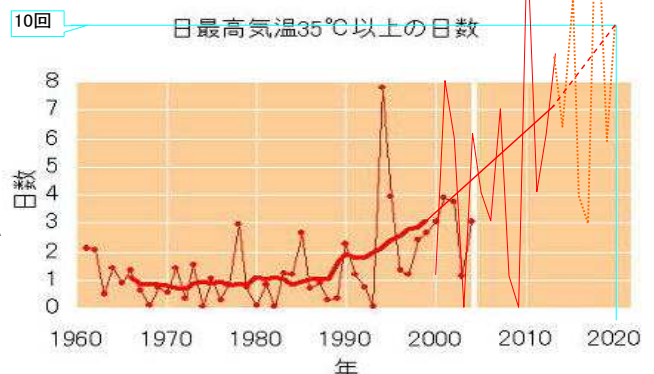
実際は設計海水温度を高めにし、高温時の低下を少なくするようにしていますが、これは低温時の効率を犠牲にしていることになり、海洋深層水を使うことが前提なら、その温度に合わせた最適化が可能となります。

(3) 温暖化、異常気象、ヒートアイランド

夏、温暖化や異常気象で首都圏の気温は上昇、振れ幅も拡大し、最高気温は40°C近く、35°C以上の日数は10日±5日(2020年の7~9月)が予想されます。東京湾の水温も着実の上昇しつつあります。

この、夏の一瞬のために過大な設備を要することになり、これでは、設備維持費も嵩み、発電コストは高くなるを得ません。

出典: 2013年まで気象庁, 2014~2020年筆者が延長的に加筆→



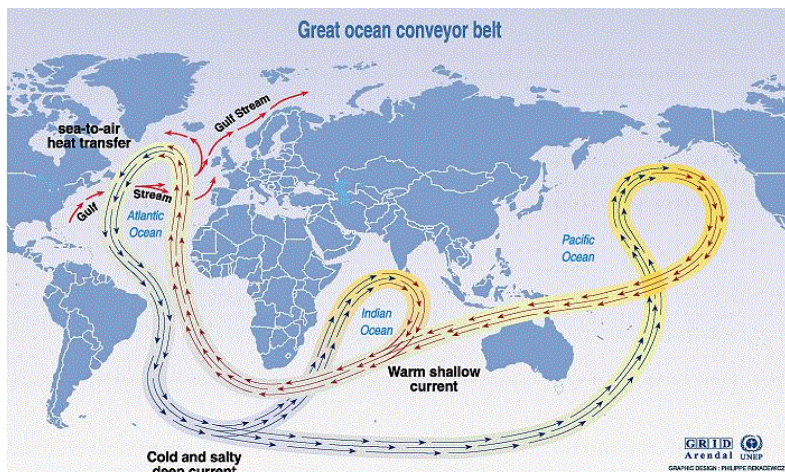
(4) 悪循環を絶つことが必要

すなわち、温暖化等で熱くなると冷房し、電力需要が増える、発電所は熱くなると発電効率が低下します。更に発電所を増設し、多くの燃料を用い発電する。或いは計画停電、ブラックアウトとなりますが、前頁に示すように、海洋深層水冷熱を用いれば、この悪循環を断つことができます。

(5)海洋深層水(冷熱)は循環再生型資源で無尽蔵、かつ膨大です。

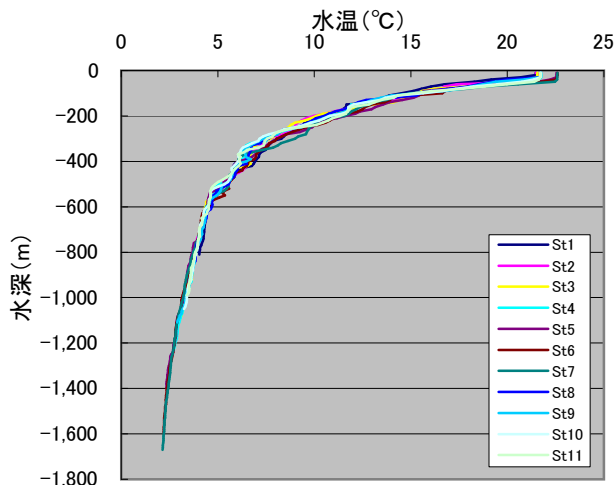
良好な取水サイトは国内では数ヶ所、世界的にも数十ヶ所に限られますが、首都圏には恵まれた海洋深層水の取水サイトがあります。

例えば、房総海底崖奥(布良海底谷など)には数億m³/日の海洋深層水(水温2℃~3℃)が流れ込んでいると推定でき、冷熱の価値にして、年間数兆円の資源に相当します。



Source: Broecker, 1991, in Climate change 1996, Impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analyses, contribution of working group 2 to the second assessment report of the Intergovernmental panel on climate change, UNEP and WMO, Cambridge press university, 1996.

海洋大循環モデル: 1980年代コロンビア大学のブロッカー教授はコンベアーベルトと言われる海洋大循環モデルを提唱されました。



館山沖での深さ~水温(弊社業務資料)
水深1,000mで3.2℃、1,500mで2.3℃となります。

(6)冷熱は運べないと思われていましたが、100km運搬しても水温はほとんど上昇しない！(発見)

従来、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が限界でした。近年、地下温度の知見も進み、地下50mくらいで極小値を迎え、年間を通じ約15℃くらいになります。ここに、3.2℃の水を、例えばφ10,000のシールドで流す場合、100km運搬して約0.1℃の水温上昇になります。すなわち、規模が大きくなると冷熱は殆ど水温上昇なく、運べることが解ります。

(7)冷熱を運ぶコストは安くできます！

“水を運ぶエネルギー(コスト)は流量の3乗に比例して増加する”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になります。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ました。改めて、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の最適化を図ることができる訳です。例えば、1,000万m³/日の流量をφ10,000のシールドで100kmを輸送する場合、コストは2.3円/m³(設備減価償却費1.6円/m³, 電気(送水エネルギー)料金0.7円/m³)となります。

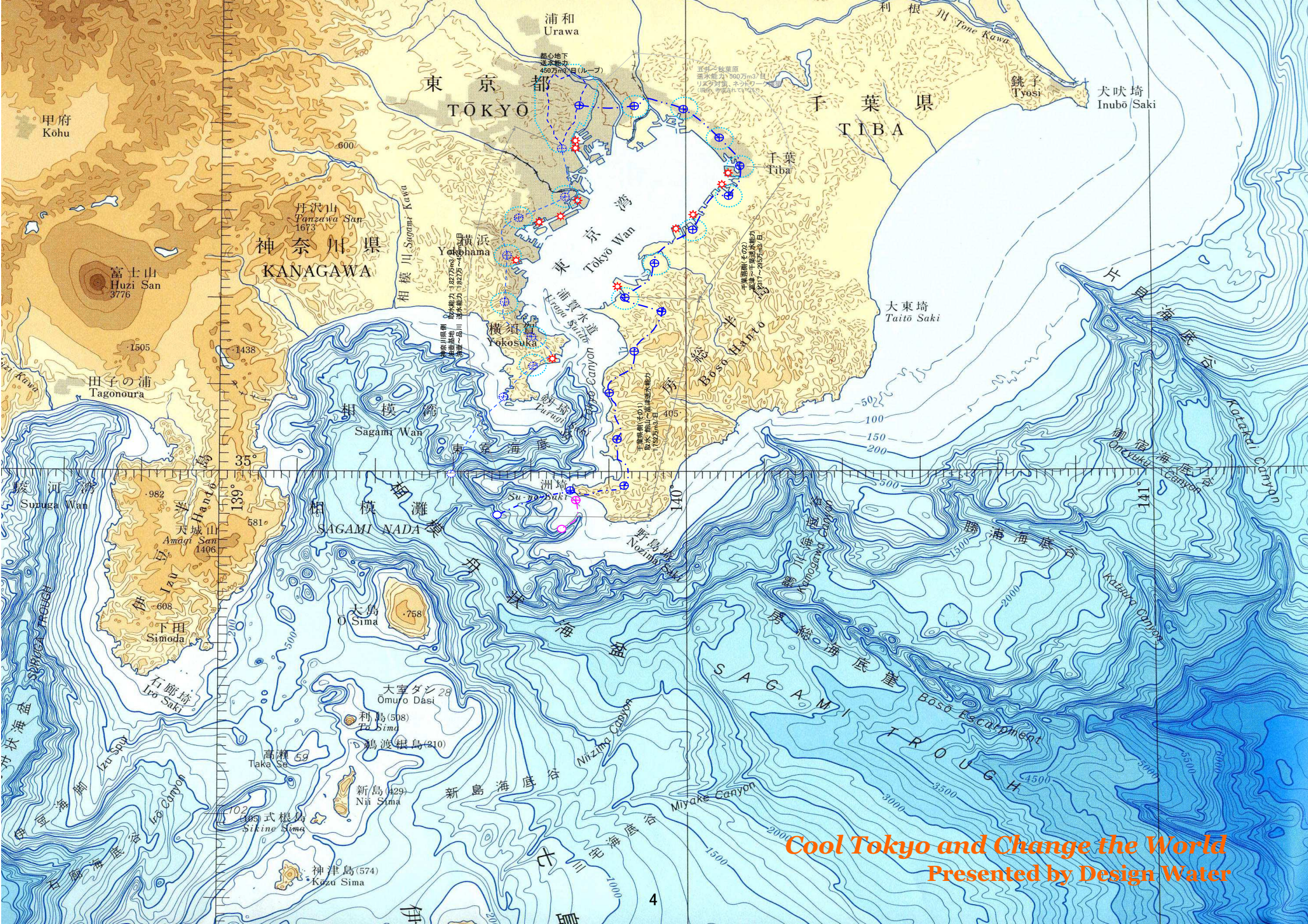
【参考2】付随して、CO2排出量の膨大な削減、東京湾環境保全、ヒートアイランドへの貢献も期待できます。

前述効果は発電効率の向上に起因し、発電量が同じ時は、燃料とCO2排出量の大幅な削減になります。また、従来、膨大な廃熱(燃料エネルギーの約50%)が東京湾と大気に放出されていましたが、廃熱を深層水冷熱で相殺することで、東京湾の水温、気温が低下、涼風が都心に流れ込みます。

海洋深層水冷熱の効用まとめ

灰色部は既述

(1)発電所冷却水、空調への利用で		
①出力 ピーク時出力増加	441~535 万kW	IPPの導入具合で差、水温30℃、気温35℃
空調利用出力減	150~450 "	水冷式の変更に時間を要する
計	591~985 "	発電所増設(約1兆円)に相当
②発電量増(年間、稼働率80%)	217 億kWh	発電所更新費用の低減(数千億円)につながる
③発電コスト低減	4.64 円/kWh	(冷熱供給事業の収益の対象に設定)
④燃料削減	1,341 億円/年	増加分のコスト、売価は利益配分による
⑤CO2削減	675 万トン/年	
} 発電量を同じと設定した場合		
(2)東京湾環境保全		
①水温低下	-1.24 ℃	現状は 1.65 ℃ 上昇(発電所廃熱他による)
②気温低下	-4.58 ℃	現状は 6.95 ℃ 上昇(自然な値に比べ)
③水質浄化	日流量(置換)換算で、約5%の清浄な深層水が混合する	
(3)ヒートアイランドへの貢献		
①気温低下	-1.43 ℃	現状は 8.14 ℃ 上昇(放射熱による低減分)
②気温低下(海風)	-2~-3 ℃	都心の上昇気流と海風による



東京都
TOKYO

千葉県
CHIBA

神奈川県
KANAGAWA

富士山
Huzi San
3776

丹波山
Panawa San
1673

横浜
Yokohama

横浜
Yokosuka

千葉
Tiba

大東崎
Taito Saki

片貝
Katagai

相模灘
SAGAMI NADA

大島
O Sima

大室
Omuro Dasi

利島
Ta Sima

鷗波根島
Uwahaone Sima

新島
Nii Sima

神津島
Kazu Sima

Cool Tokyo and Change the World
Presented by Design Water