



津波防災×潮位差発電を同時実現する可動式防潮堤 自己発電化により災害停電時にも稼働

【要点】

- ・ 世界初となる、自己発電で作動する可動式防潮堤による潮位差発電方式を提案
- ・ 全国56港を対象に発電量を試算し、後背地に余剰電力を供給できる可能性を示唆
- ・ 実現性ありと判定された港は23、うち20港は南海トラフ地震の津波到達予想地域

【概要】

東京工業大学 環境・社会理工学院 融合理工学系の高木泰士教授らは、自己発電型可動式防潮堤に関する研究成果を発表した。

今後40年以内の発生確率が90%と予測されている南海トラフ地震による津波、気候変動により巨大化が懸念される台風による高潮など、日本の港は沿岸域災害のリスクが高い地域に立地している。本研究では、日本の生命線とも言える港を津波や高潮から守るとともに、未来に渡って予測可能な「潮位差エネルギー」を利用して、沿岸域防災と潮位差発電を同時に実現する画期的な防潮堤システムを提案した。本研究は、東京工業大学、株式会社ワールド設計（沖縄）、協同エンジニアリング株式会社（大分）、オリエンタル白石株式会社（東京）、株式会社センク21（東京）、中外テクノス株式会社（広島）、日本防蝕工業株式会社（東京）、株式会社ネポクコンサルタント（神奈川）、八千代エンジニアリング株式会社（東京）、株式会社テクノシステム（島根）らで構成される「潮位差エネルギーの利用による港の活性化研究会」による成果である。



可動式防潮堤を活用した港における潮位差発電のイメージ

本研究成果は11月6日（現地時間）付けで国際学術専門誌「*Renewable Energy*」に掲載された。

●背景

近い将来に予想される地震・津波、および気候変動に伴い激甚化が懸念されている台風・高潮災害への対策として、可動式防潮堤の技術が注目されつつある。2020年12月には国内初となる**海底設置型フラップゲート式防潮堤**（用語1）が岩手県大船渡市に、2022年3月には同種のゲートが兵庫県南あわじ市に設置された。2024年元日に石川県能登地方で発生した令和6年能登半島地震（マグニチュード7.6）では、直後に津波が発生し、多くの港で船の転覆や流出、陸地への乗り上げなど大きな被害が発生した。可動式防潮堤は、このような港に押し寄せる津波を食い止め、停泊する船や建物、物揚・加工施設、そこで働く人々、あるいはその背後地域で暮らす人々を守るために設置される。

可動式防潮堤には、常時は海底面下にゲートを格納でき、船の出入りや潮の流れを阻害せず、上空に巨大な梁が架かる通常の水門のように視界や景観、船の高さの妨げにもならず、他の工法に比べると地権者交渉など建設に係る調整コストが小さいなど、非常に数多くの優れたメリットがある。しかしながら、技術的な難易度が高く、建設コストも高価になりがちで、過去の実績も少ないため、導入の機運は必ずしも高いという訳ではない。本研究のメンバーらは地震の衝撃や液状化にも耐え、港口を閉鎖することで津波の港内への浸入を防ぐ構造として、**ニューマチックケーソン工法**（用語2）による基礎をもつ可動式防潮堤の研究開発を行ってきた（図1）。

ニューマチックケーソン基礎の内部にはスペースが設けられており、海底面下に防潮ゲートを格納することが可能である（図1の8に図示）。地震発生時にはウィンチを解除することで、ゲートは浮力を得て無動力で浮上し、短時間で港口を閉鎖することができる。一方で、ゲートを海底面下に再び引き下げの際には動力が必要となるため、地震等で停電が発生してしまうとウィンチを動かすことができず、港の再開に支障を及ぼす懸念があった。

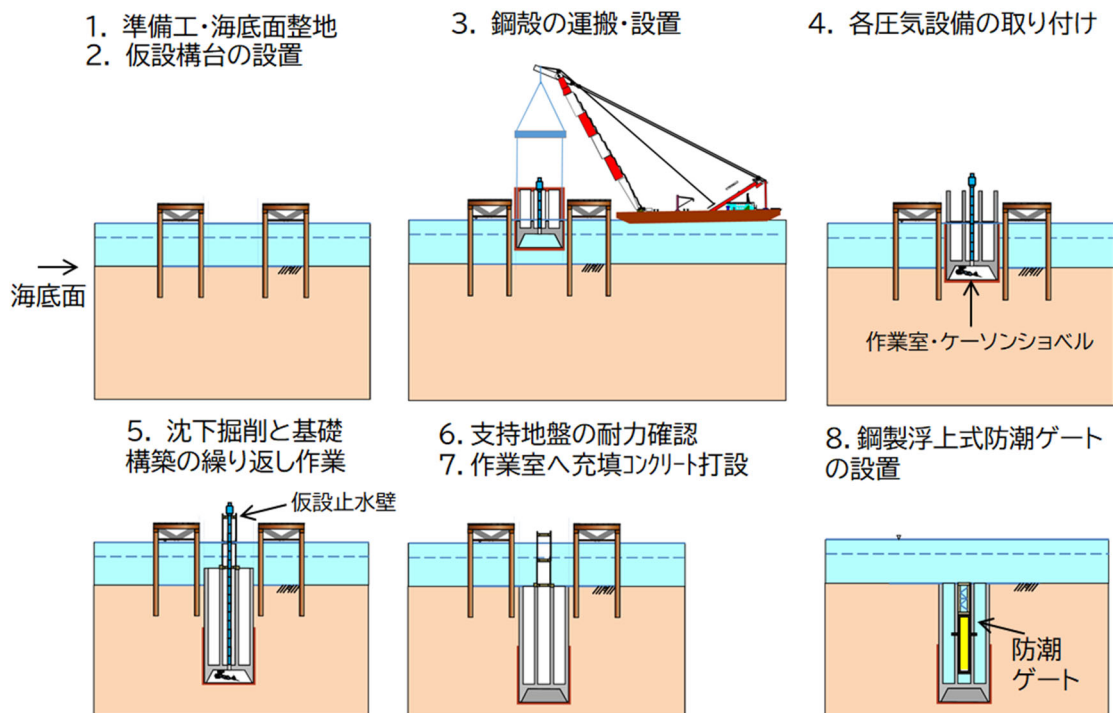


図1 ニューマチックケーソン基礎を有する可動式防潮堤の施工方法

そこで本研究では、可動式防潮堤により生み出される港の内外での局所的な潮位差エネルギーを動力源として活用することを考えた。フランスや韓国など干満の差が大きい一部の国・地域では、大規模な潮位差発電施設がすでに稼働している。しかし、四方を海に囲まれながら、干満の差が比較的小さい日本では潮位差発電の事例はこれまで存在しなかった。無限の再生可能エネルギーである潮位差エネルギーをほとんど利用できていない状況を少しでも克服するため、発電したエネルギーの港の後背地への供給ポテンシャルについても検討した。

●研究成果

本研究では、可動式防潮堤の設置により既存の港に大きな津波・高潮シェルターとしての役割をもたせ、同時に港内外の潮位差を活かして潮位差発電を行う自己発電型可動式防潮堤のコンセプトを提案するとともに、干満の差が比較的小さい日本でも実現可能か検討した。

港の利用と潮位差発電を両立するため、夜間のみ港を閉鎖し、その間に発電を行うシナリオを検討した(図2 a, b)。この際、生み出される電力が可動式防潮堤自体の作動電力として十分か、港の後背地への電力供給が可能か、大潮だけでなく小潮時にも発電可能か、といった観点に立ち実現性を検討した。

広い港では出入口の幅が100 m以上にもなるため、一基のゲートのみで港を閉鎖することができず、複数のゲートを延長線上に配置する必要性が出てくる。ゲート同士が接触せず作動するためにはある程度の隙間を設ける必要があるが、この空間を発電タービンの設置場所として有効利用することを考えた。しかし、この隙間は津波の進入路にもなるため、本来は出来る限り小さい方がよく、海水流入率や施工性、地震による地盤の変形などを考慮した最小幅の空間にタービンを設置する案について検討した(図2 c)。

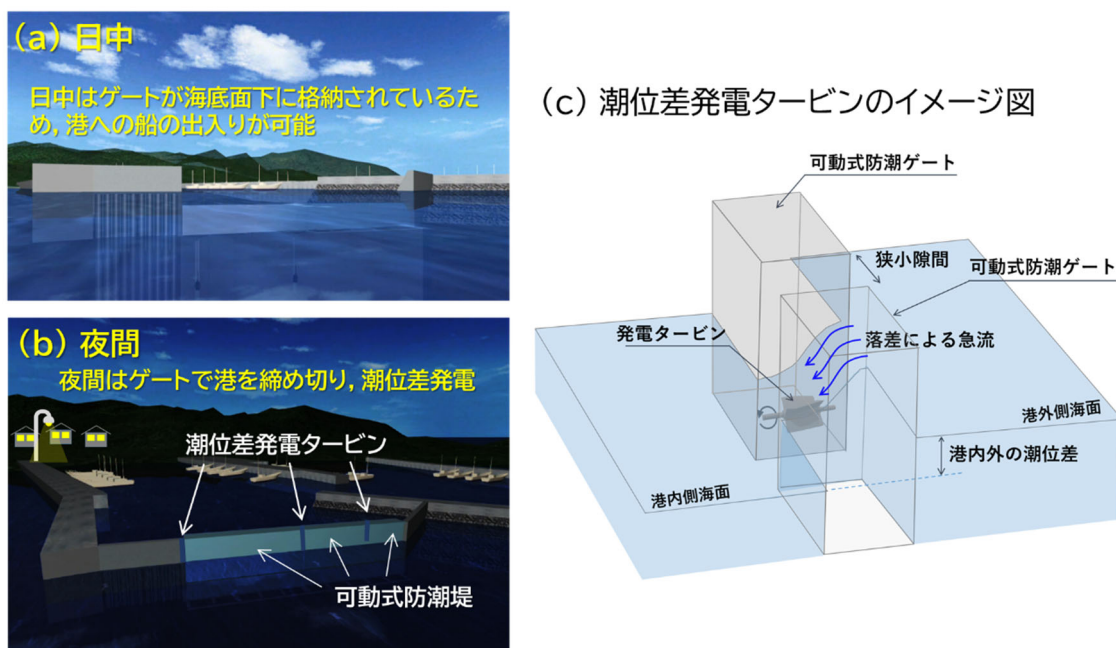


図2 可動式防潮堤による潮位差発電のイメージ

(最終的には、図1に図示する可動式防潮堤の製作工程に組み込むことを想定)

以下に、発表論文における具体的な成果を示す。

- (1) 計算式に潮位差発電に関係する変数を入力することで、可動式防潮堤で閉鎖された港の発電電力量（発電量）ポテンシャルを予測できる発電量試算モデルを提案した。任意の潮位差や潮汐パターン、港の広さ、深さ、港口の幅、ゲートの設置数、タービンの設置数、水車の大きさ、**パワー係数**（用語3）などに対して、発電量の時間的変化を計算することができる。天文潮位は将来にわたってかなり正確に予測できるため、何年何月何日の何時にどの程度の発電が可能か細かく試算することができる。これにより中長期的な経済性を個別の港レベルで検討することができるようになる（図3）。

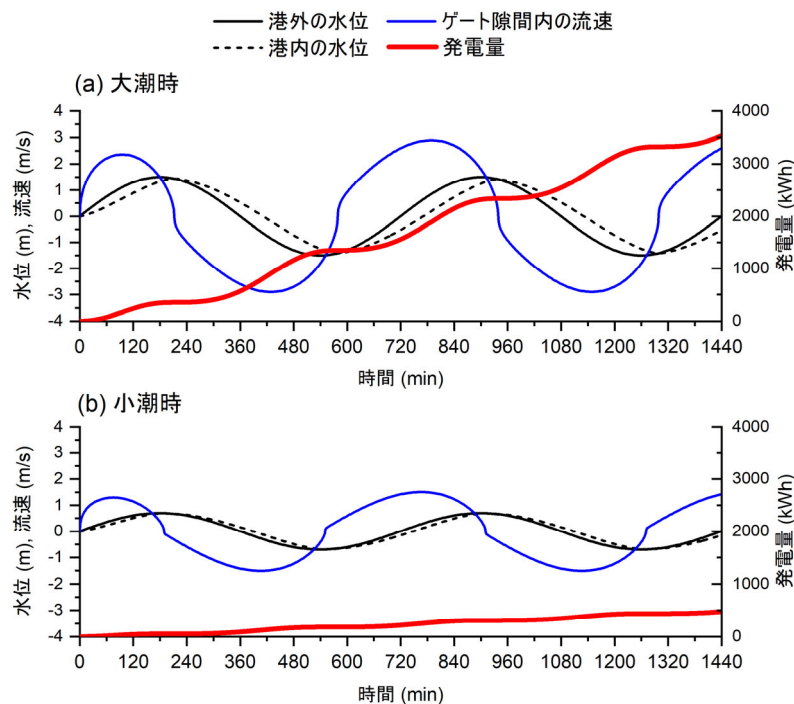


図3 モデル港における発電量試算例（上は大潮、下は小潮のケース）

- (2) 港の地域的な分布や数などを考慮の上、最終的に全国56の港を選定し、潮位差発電ポテンシャルを試算した（図4）。発電ポテンシャルは港によってばらつきが顕著だが、全般的に東日本よりも西日本で大きく、日本海側よりも太平洋側で大きいことがわかった。また、夜間8時間で500 kWh以上発電できる港は小潮時にはないが、大潮時には1,000 kWhを超える港があることがわかった。

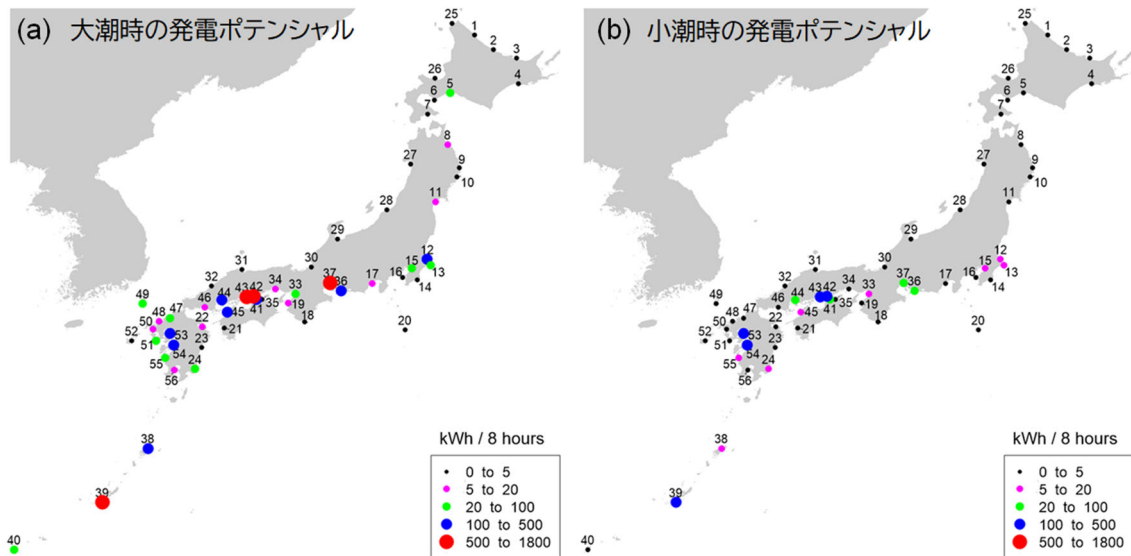


図4 全国 56 の港における潮位差発電ポテンシャルの試算結果
(左は大潮、右は小潮のケース)

(3) 可動式防潮堤を外部電源に頼らない独立したシステムにするためには、最低限ゲート作動のための電力を自己発電する必要がある。56 港のうち 23 港でその発電ポテンシャルがあることがわかった (図5)。また、ゲート作動用の電力以外は余剰電力として港の背後地に供給可能と考えることができる。余剰電力が特に大きな港では大潮時の夜間 8 時間における発電量が 1,000 kWh 以上にもなると試算され、地域で停電が発生した際などに貴重な電源として活用が期待できる。

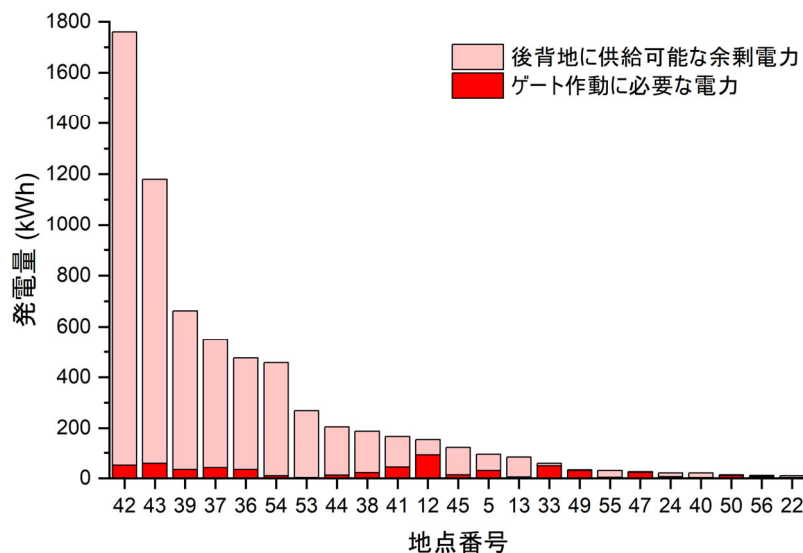


図5 23 港における夜間 8 時間発電量 (地点番号は図4 に対応)

(4) (2) で述べた通り、特に西日本の太平洋側で発電ポテンシャルが高いという試算結果が示された。西日本に位置する港には日本経済の大動脈である臨海工業地帯を支えている港が少なくないが、同時に津波や高潮による災害リスクが高い地域でもある。特に南海トラフ地震は近い将来に発生が予測されている災害の中で

も最大級の災害だが、自己発電型可動式防潮堤の実現性が比較的高い 23 港のうち、20 港が南海トラフ地震により 2 m 以上の津波が予測されている地域に位置していることがわかった (図 6)。したがって、自己発電型可動式防潮堤は南海トラフ地震の対策のひとつとしても検討することができる。

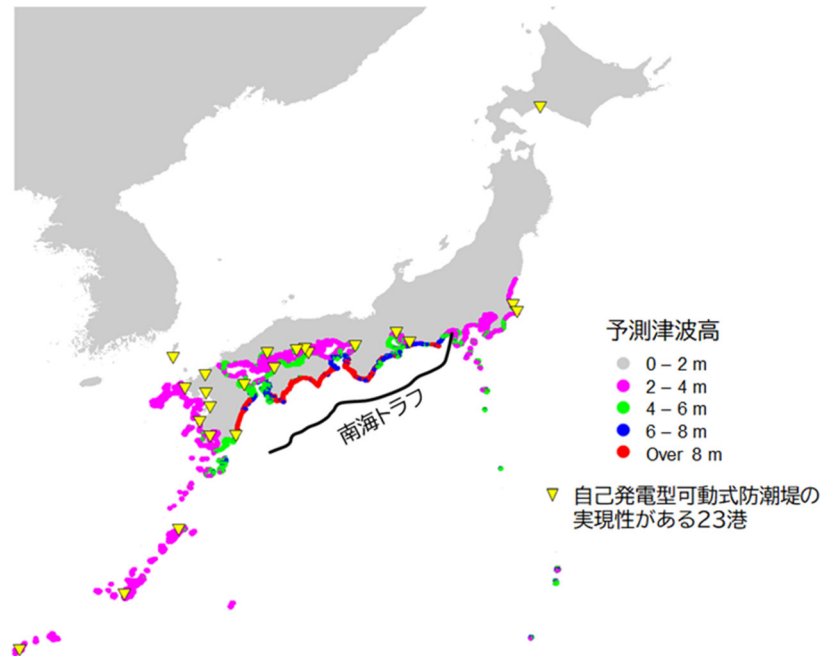


図 6 南海トラフ地震による津波想定 (内閣府シナリオ：ケース 3) および自己発電型可動式防潮堤の実現性が比較的高いと判定された 23 港の位置図

(5) 全国 56 港の全データに対して統計解析を行ったところ、数ある影響要素のうち、潮位振幅と港内面積が特に発電量に影響を及ぼす要素であることがわかった。そのため、この 2 要素をもとに自己発電型可動式防潮堤の実現性を簡易的・予備的に判定できる図を提示した (図 7)。

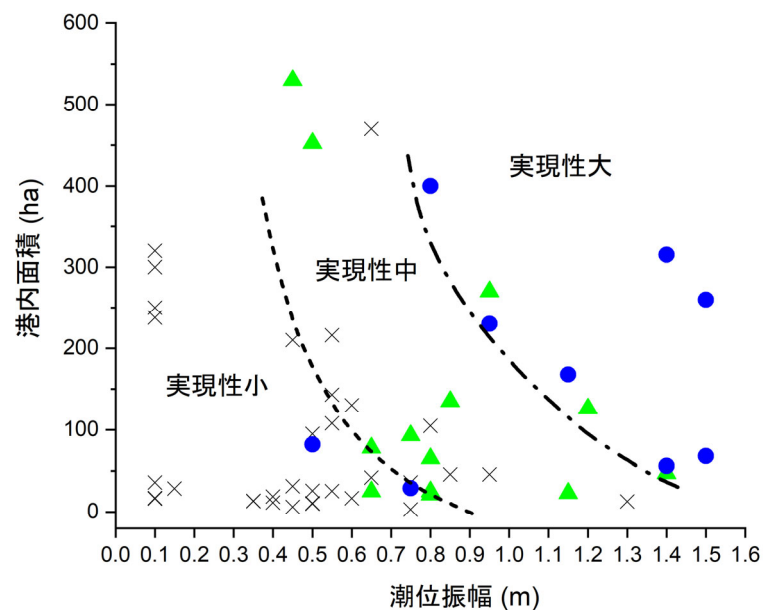


図 7 簡易判定図

- (6) 発電タービンを複数台配置する場合、水車背後に生じる後流という流れの振動が隣接タービンの発電出力を低下させてしまう懸念がある。本提案方式の場合、隙間の鉛直方向にタービンを複数配置することで後流による相互干渉を防ぎ、効率的な発電が可能であることを3次元数値流体解析により明らかにした(図8)。

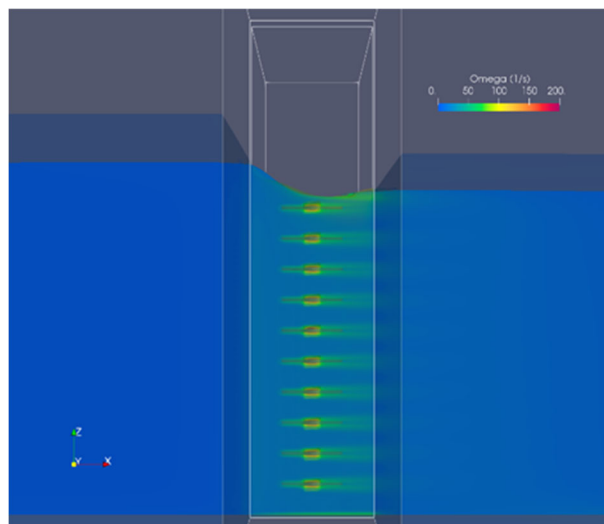


図8 隙間の鉛直方向に複数台の発電タービンを設置した場合の3次元流体解析

●社会的インパクト

本研究の取り組みは、有望な技術でありながらもなかなか弾みが付かない可動式防潮堤に、潮位差発電という再生可能エネルギーの利用価値を付加することで普及を後押しする狙いもある。また、潮位差発電を行うため夜間に港を閉めれば、その時間帯の津波や高潮対策にもなり、日常的に稼働させることで、いざという時にも不安なく可動式防潮堤を起動できるなど、防災上の大きなメリットもある。夜間だけでなく、盆休みや年末年始など、比較的長い間港を使わない期間に発生する津波や高潮の対策にもなる。また、災害などにより停電が発生した場合でも、港を臨時的潮位差発電所にできれば、緊急的な電力を孤立した地域に供給するような役割も期待できる。

●今後の展開

世界を見渡しても海面上昇や地盤沈下、海岸侵食などにより、津波や高潮、高波など災害リスクは年々高まっており、沿岸域を持続的に守っていくためには、より一層効果的・効率的な防災技術が求められている。本提案を実現するためには、数々の技術的課題を解決し、実証試験等を通じて機能を明らかにしていく必要があるが、日本の過酷な災害条件で技術を着実に発展させることができれば、日本発の「発電もできる画期的な防災技術」として将来海外に輸出展開できる日が来るものと期待される。また、日本の場合、全国津々浦々に非常に数多くの港が整備されてきたが、今後さらに少子高齢化が進み、実質的に遊休状態の港が増えてくると予想される。このような既存のインフラ資産を今後有効に活用する方策の一つとしても、可動式防潮堤による潮位差発電のシステムを提案していきたい。

【用語説明】

- (1) 海底設置型フラップゲート式防潮堤：常時は海底面に横たわるゲートを災害等に起伏させることができる防潮堤。
- (2) ニューマチックケーソン工法：最下部の密閉された作業室に高圧の空気を送ることによって地下水の浸入を防ぎながら掘削を行い、地中に基礎を構築していく工法。
- (3) パワー係数：発電タービンのエネルギー変換効率。

【論文情報】

掲載誌：*Renewable Energy*

論文タイトル：Feasibility of a Self-powered Movable Seawall using Microtidal Energy in Japan

著者：Hiroshi Takagi ^a, Ryouichi Tomiyasu ^b, Taketo Araki ^c, Tomoyuki Oyake ^d, Noritaka Asakawa ^e, Ichiro Ishihara ^f, Takeharu Kawaoka ^g, Feng Yan ^h, Hayato Kokusho ⁱ, Mikio Hino ^j

所属：^a東京工業大学、^b株式会社ワールド設計、^c協同エンジニアリング株式会社、^dオリエンタル白石株式会社、^e株式会社センク21、^f中外テクノス株式会社、^g日本防蝕工業株式会社、^h株式会社ネポクコンサルタント、ⁱ八千代エンジニアリング株式会社、^j株式会社テクノシステム

DOI：10.1016/j.renene.2023.119563

【問い合わせ先】

東京工業大学 環境・社会理工学院 融合理工学系 教授

高木 泰士

Email: takagi.h.ae@m.titech.ac.jp

【取材申し込み先】

東京工業大学 総務部 広報課

Email: media@jim.titech.ac.jp

TEL: 03-5734-2975 FAX: 03-5734-3661