

海岸線を活用する波力発電

林 昌奎

東京大学 生産技術研究所 教授

1 海岸に打ち寄せてくる波

海面は常に揺れている。その揺れのほとんどは波によるものであり、沖合で発生した波は海岸で消え去る。波は周期的な変動を伴い、エネルギーレベルは波高の二乗に比例し、エネルギーの伝搬は方向性を持ち、伝搬の速さは波の周期と水深に依存する。波力発電は波が持つエネルギーを我々が利用できる電気エネルギーに変換する装置であり、波が持つエネルギーは波によって動かされる海水の運動エネルギーと海面の高さの変化である位置エネルギーである。波エネルギーが多いと海面は高く大きく揺れる。海洋波は、海流や潮汐・潮流などの他の海洋再生可能エネルギーと異なり、エネルギーの伝搬に物質の移動を伴わず、形を持っている。

海洋波の特徴の一つに分散性がある。波の周期と波長との関係、波の伝搬速度に関わる波の性質であり、波の周期が長くなると波長も長くなり、波の伝搬速度は速くなる。光や電波が振動数や波長と関係なく伝搬速度が一定であることは異なる海洋波の性質である。波が沖合から海岸に伝搬してくると、海底の影響を受けてエネルギーを失い、伝搬速度が遅くなる。海底の影響は水深が波長の2分の1より浅いところで堅調となり、水深がより浅くなると波は分散性を失い、波の伝搬速度は水深のみに依存し、水深が浅くなると伝搬速度は遅くなる。海岸に打ち寄せてくる波が海岸に平行なのは、波の伝搬速度が水深の影響を受けることによるもので、それを波の屈折という。また、水深の浅い海の波が持てるエネルギーには限界が

ある。海水の量が沖合より少ないからであり、波のエネルギーは海底との摩擦や砕波により失われる。波のエネルギーは波高の二乗で表し、ある水深における波の最大波高を砕波限界波高といい、砕波限界波高は水深と同程度である。

2 波力発電

太陽光、風力、水力、地熱、海流・潮流などの波以外の再生可能エネルギーは形を持たず、光エネルギー、運動エネルギー、位置エネルギー、熱エネルギーなど、エネルギーの形態が一種類であることから、各エネルギー源に対してそれぞれに適したエネルギーの変換方法が存在する。ところが、形を持って、運動と位置の両エネルギー形態を持つ波エネルギーの変換方法は多様である。最も分かりやすい波による海面の上下運動を利用する方法についても様々な考え方がある。

例えば、海面に浮体を置き、海面の上下運動に伴う浮体の上下運動を利用する方法、また、海面にバケツのような容器を逆さまに置き、海面とバケツで構成される空間作り、海面の上下運動による空間の体積の変化を利用する方法がある。さらに、波による海面の高さの空間変化である波の形を利用する方法、海面の上下運動により生ずる海中の水圧の変化を利用する方法があり、そして、海面が高い時に海水を貯め、海面が下がったときに海水を海に戻す方法などがある。そこに波による海水の運動の利用が加わるとエネルギー変換方法はさらに増える。

波力発電装置は、波が持つエネルギーを我々が利用できる電気エネルギーに変換する装置であ

る。常に波にさらされているので、装置にかかる波力に耐える構造物である必要があり、可能な限り多くの波エネルギーを電気エネルギーに変換することが望まれる。通常は波高が1mの海であっても台風などによる大荒れのときは波高が10mを超える。エネルギーに換算すると100倍以上となる。ところが、沖合で波高が10mを超える波であっても、海岸に近づくとエネルギーを失い、水深4mの海岸における波高は4m以下になる。また、一般に波力発電装置の波エネルギーから電気エネルギーへのエネルギー変換率は、波を正面から受けるとき最も高くなる。水深3~4mの海岸に設置する波力発電装置は、水深によって制限された設計波力の下、常に波を正面から受ける形状の設計が可能となる。海岸形状には一定の制限が付き、発電量は設置場所の波浪条件によるものの、水深3~4mの海岸には、設置場所の波浪条件に関係なく、同じ形状の波力発電装置を展開することができる。

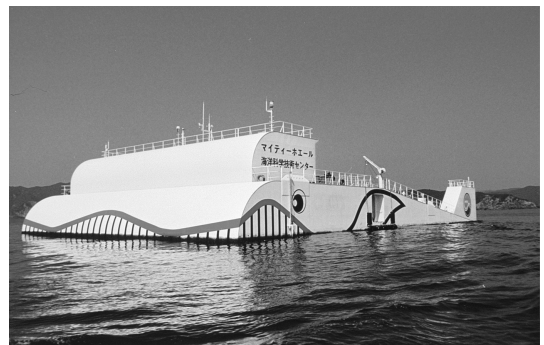
波エネルギーは日本のすべての海岸に広く存在する。特定の海域でのみエネルギー源として利用可能な潮汐・潮流、海流に対して、波はより広い海域で利用可能なエネルギー源である。高橋ら¹⁾によると、日本周辺の波パワー(波エネルギーの輸

送率)の総平均量は3,600万kWであり、日本を囲む折れ線の長さが約5,200kmであることから、日本周辺の平均波パワーは約7kW/mと推定されている。そのうち、300万kW程度を海岸に設置する波力発電装置で活用できると考えられ、固定式振動水柱型波力発電装置と固定型振り子式波力発電装置がそれに適した波力発電装置であると考えている。振動水柱型波力発電装置には、日本で開発し、世界で初めて実用化された小型浮体式波力発電装置である益田式航路標識ブイ²⁾(写真1)を始め、JAMSTEC 沖合浮体式波力装置「マイティーホエール」³⁾(写真2)など浮体式の波力発電装置がよく知られているが、LIMPET(Land Installed Marine Power Energy Transmitter)⁴⁾(写真3)、Mutriku Breakwater Wave Plant⁵⁾(写真4)など、海岸や防波堤に設置する固定式の振動水柱型波力発電装置も多数開発され実用化されている。

固定型振り子式波力発電装置は、室蘭工業大学の研究グループにより基本概念が確立され、最近では東京大学生産技術研究所の研究グループが実用化を目指している、水深3~4mの海岸や防波堤の前に設置する波力発電装置である。日本で初めて系統連系した波力発電装置として、2016年



写真1 振動水柱型波力発電装置を利用した航路標識ブイ²⁾



©JAMSTEC

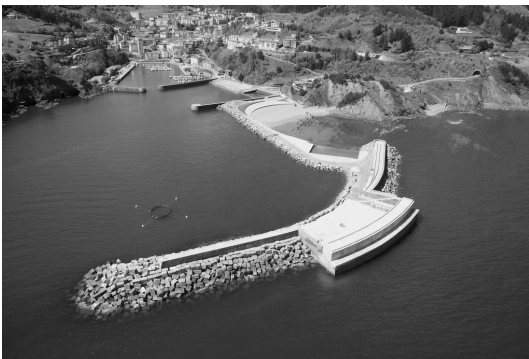
写真2 沖合浮体式波力装置「マイティーホエール」³⁾

※三重県南勢町(現 南伊勢町)沖で実海域実験を行い、平成14年3月に実験を終了した。



©Wave gen

写真3 海岸設置振動水柱型波力発電装置「LIMPET」⁴⁾



©Energiaren Euskal Erakundea · Ente Vasco de la Energia

写真4 防波堤設置振動水柱型波力発電装置「Mutriku Breakwater Wave Plant」⁵⁾

9月に岩手県久慈市の久慈港玉の脇防波堤前に久慈波力発電所(写真5)が設置され海域実験が進められている。また、神奈川県平塚市の平塚漁港南防波堤前に実用化を目指して規模を大きくし発電

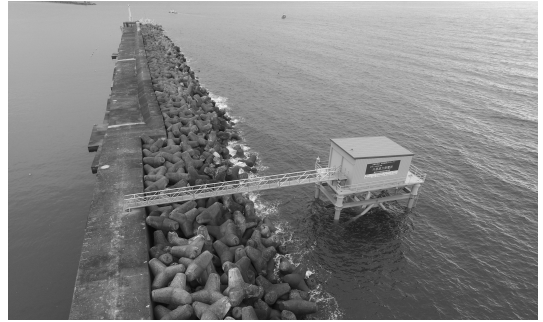


写真5 固定型振り子式波力発電装置「久慈波力発電所」

能力を増やして平塚波力発電所を設置し、2020年2月から2022年2月まで海域実証が実施された。

3 海岸線を活用する波力発電

固定型振り子式波力発電装置は環境への影響がほとんどなく、低コストと保守・拡張性に優れている。図1の平塚波力発電所の概念図に示すように、波のエネルギーを波受板(Wave Rudder)と油圧機構を介して電気エネルギー変換するシステムで、機構がシンプルであり、油圧装置などの基本部品は既存の他分野で利用されている部品を活用している。久慈波力発電所と平塚波力発電所の油圧装置には船舶の操舵装置に使用されている油圧装置が使用された。今後の本格的な展開においてはエネルギー変換率の向上や低コスト化に向けて、海岸に打ち寄せてくる波の波高や周期、海面水位の変動などの情報をレーダによるリモートセ

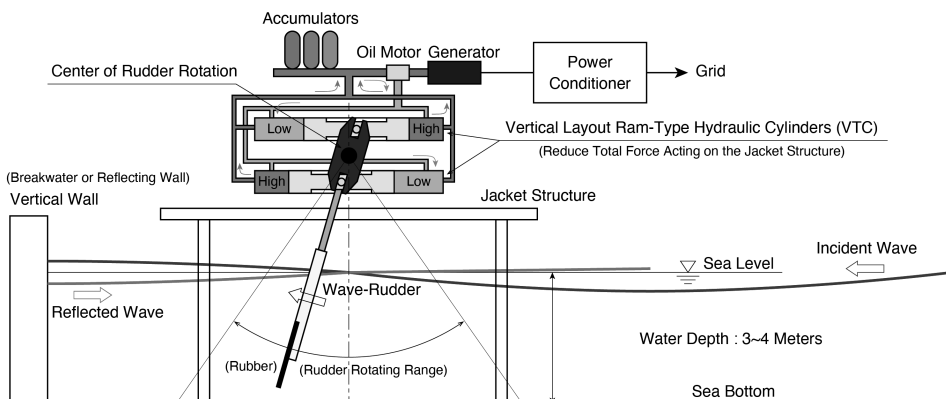


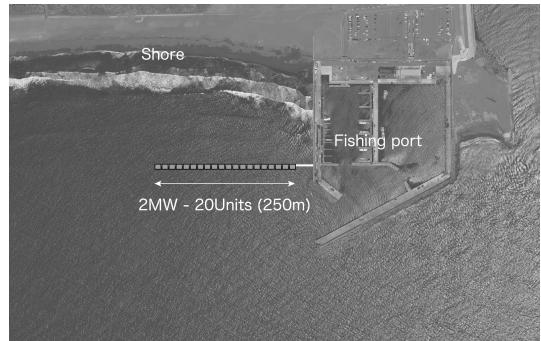
図1 固定型振り子式波力発電装置「平塚波力発電所」の概念図

ンシング技術を用いることで事前に把握し、発電装置の最適制御につなぐことや、変動の大きい波力に対応するため電気自動車用に開発されたモーターを発電機として利用するなど、最先端の技術を活用するための検討が進められている。水深3～4mの海岸に設置する波力発電装置は、陸からのアクセスが便利で装置の点検やトラブルへの対応が容易であり、海岸や防波堤に平行に並べることで総発電量を増やすことができる。定格出力100kWの発電装置を40基並べると幅500mの4MW波力発電ファームができる。日本の一般家庭において、1人が1日に消費する電力量は約4.7kWh(環境省「平成31(令和元)年度 家庭部門のCO₂排出実態統計調査(確報値)」から推定)であり、設備利用率30%の4MW波力発電ファームが発電する電力量で、約6,000人が消費する電力量を賅うことができる。波力発電装置は、波のエネルギーを吸収し海岸に打ち寄せてくる波の力を弱めることで海岸浸食防止に貢献でき、魚が集まる魚礁効果も期待できる。なお、同じ製品を大量生産するので製作や維持管理コストの低減にもつながる。

海岸に設置する波力発電装置は、防波堤などの港湾設備の拡張、離岸堤との併用またはその代わり、発電能力を有する新たな海岸設備としての展開が想定される(図2・3)。日本の海岸に総発電能力300万kWの波力発電装置を展開しようとすると、全海岸の10%程度の海岸に設置されることになる。波力発電装置は人工的な構造物・建築物として海岸の日常な風景となり、海岸の景観を構成する要素の一つになる。その形状は基本機能を維持しつつ、周辺の景観と調和する柔軟な外観の形成が可能なものにならなければならない。また、波力発電装置から集められる海岸に打ち寄せてくる波、高潮や津波などによる海面上昇の情報は沿岸災害に対応するための重要な情報となる。

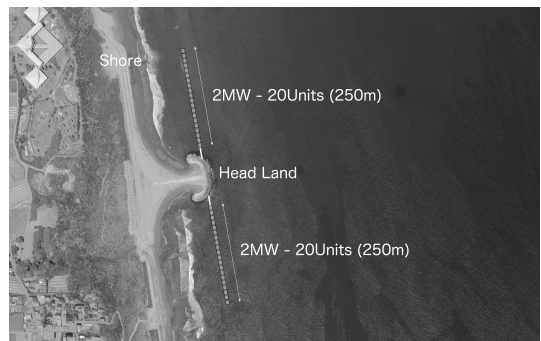
地球環境やエネルギー問題への対応は人類が避

けて通れない課題である。波力発電は微力ながら今後確実にその一翼を担うことになる。海岸線を活用する波力発電は、発電装置としての機能のみならず、沿岸防災、海岸保全、景観や漁業など既存産業との調和、エネルギーの自給自足・地産地消とも深く関わりながら展開されることになる。



出所：国土地理院撮影の空中写真「CKT20194-C27-57」を加工

図2 漁港を活用した波力発電ファームのイメージ図



出所：国土地理院撮影の空中写真「CKT201916-C5-3」を加工

図3 離岸堤を利用した波力発電ファームのイメージ図

(参考文献)

- 1) 港湾空港技術研究所 資料0654(1989)
- 2) 株緑星社ホームページ <https://www.ryokuseisha.com/>
- 3) 国立研究開発法人海洋研究開発機構ホームページ <https://www.jamstec.go.jp/>
- 4) The Queen's University of Belfast: "ISLAY LIMPET WAVE POWER PLANT", p40, 2002
- 5) バスク自治政府エネルギー局(Ente Vasco de la Energía)ホームページ <https://www.eve.evs/>