

海流発電の意義と将来展望

The Significance and the Feasibility of the Electric-Power Generation System by Ocean Currents

海 法 泰 治*

Yasuharu Kaiho

1. 海流発電とは

近時、自然エネルギーの価値が再認識されて、海流エネルギーもその一つとして、利用方法に関する調査、研究が進められている。

海流発電の発想は特に新しいものではない。水車は人類の最も古い動力源の一つであり、これが大成されたものが、現在の陸上水力発電方式といえるであろう。海流発電は、海洋での流れを利用して発電を行おうとする点で、本質的には現行陸上水力発電方式と異なるものではない。海峡等の急流を眺めれば、その利用を考えるのはごく自然な発想ともいえるべく、既に大正年間にも、鳴戸海峡の潮流を対象とする相当具体的な計画が発表されていたとも聞いている。これが何故に今日に至るまで放置されていたかについては、種々の理由があったのであろうが、その主たるものは、そこまでの社会的な要求がなかったためであろう。

海流発電は、いわば既に確立されている陸上水力発電方式の海洋環境への適用ともいえるべきもので、原理的には不安の要素もなく、発電系に対して現在直ちに実施し得る十分な技術蓄積も存在する。

その間の差異は、主として動力取得の方式であって、現行水力発電方式では、ダム等により貯水された水が、落差をもった水路により、ヘッド、流量が規正されて、陸上に固定された発電水車プラントに導かれているのに対して、この場合は、水車プラントそのものが海中の自然流である海流中に、そのまま設置されることである。したがって発電性能は全面的に、利用しようとする、設置点の海流の流況に依存することになり、このため后述のような、種々の新たな問題が提起されることになるが、いずれも海洋関係技術の進歩した現在では、現行技術水準で解決し得る問題であって、全体として、技術的には問題はなく、要はその経済性となる。

これに関しては、現在までに実績もなく、海流の調査も多く資料はあるが、エネルギー利用を目的とした調査は殆んど行われておらず、また、海洋環境における影響についても未知の要素が多いので、現在直ちに、これを確言し得る段階ではないが、従来の陸上水力発電方式と比較すれば、ダム、水路等の大規模な工事を必要とせず、また渇水等の気象条件に左右されることもなく、安定した操業をなし得るといふ、大きなメリットを考慮すれば、今後の構成要素に対する、最新の技術導入により、低廉、且つ永久的な電力を得られることは、充分期待し得るものと考えられる。

2. エネルギー源としての海流について

海流発電の根本となる海流については、その流況特性から、大別すれば次の3になる。

1. 黒潮により代表される外洋海流
2. 海峡等の潮流
3. 特殊なケースとして、この合成による津軽海流

1. の外洋海流は、地球の自転に起因するといわれる、外洋中の大きな流れであり、その代表的な黒潮は、源を赤道海域に発し、延々北上して我国の南岸を洗って流れる世界最大級の海流である。

その流量は3,000万屯～5,000万屯/秒、潜在エネルギーは 7×10^9 kwとも言われる巨大なエネルギー源で、流軸は概ね1,000mの水深にあるが我国に近づいて、巾の狭い強流となり、数ヶ所で200m以浅の浅海域を通過しているため、ここに発電を行い得る可能性がある。流軸の変動は、短期的には殆んど変化なく流況もほぼ一定で、長期的には、所謂黒潮異変で知られるように、相当な変動があるが変動の少ない地点もあり、その変動も多分に周期的な要素が考えられるので、将来更に調査が進み、また大深度に対する設置方式が確立されれば、その利用度は更に大きくなるものと考えられる。

流速については、最高期待値は、3.5 kt程度である

* 元防衛庁第3研究所所長

〒197 秋川市牛沼287 (自宅)

う。

2. の海峡潮流は、潮の干満に基づくもので、地形的に内海と外海を結ぶ海峡等の狭水道に生ずる、潮位差による流れである。潮流発電はこの流れを利用して発電を行おうとするもので、本質的には潮位差の大きい河口等にダムをつくり、潮位差を人工的に最大限に利用しようとする潮位差発電方式と同じものである。この場合は、ダム等の工事を行わず、自然の地形を利用しているもので、したがって、潮流は日間180°の流向変動を繰返し、且つ流速もこれにしたがって大きく変動するので、設置される水車プラントも、これに及び得る型式が必要であり、また変動する水車出力に対する利用方式も大きな問題となり得る。最大流速は10 kt をこえる地点もあるが、一般に6 kt 程度のところは各所にみられる。一ヶ所の発電量は規模的に大は望めないが、陸岸が近いことは大きなメリットとなり得るであろう。

3. の合成流は、津軽海峡のみにみられる、特殊の海流で、日本海から大平洋に流れる海流と、潮汐流が合成されるため、全体として流速が変動するのみの一方向流となっている。流速は6 k に達する地点もあり、流量も比較的多く、一方向流であることは、設置に対し大きなメリットとなるので、この海流は、有望な発電源になるものと期待される。

以上を総合し、日本近海の高流発電候補地につき、別表の資料が科学技術庁資源調査所から出されている。

3. 海流発電に対する問題点

海流発電の最大の特徴は、水車プラントが海中の自然流である海流中に、そのまま設置されることである。海流エネルギーは、他の自然エネルギー、風、波浪、太陽エネルギーと同様に、エネルギー密度は小なので、これを有効に利用するためには、どのような型式をとるにせよ、水車プラントの大型化は避けられず、この

表1 海流発電候補地一覧表

地 点	陸地からの距離	水深	陸地から水深200m付近までの距離	海流の傾向	地 質	住 民 状 況
◎大間崎の北	7.0 km	H=50~70 m	13 km	2~4 kt NE 方向 流向ほぼ一定	岩、砂礫質	大間町 人口 7,753人
汐首岬の東南	4.0	H=70~80	10	1~3 kt E 方向 流向やや一定	"	戸井町 人口 5,733人
竜飛崎の北	4.0	H=70~100	7	1.5~4 kt NE 方向 流向ほぼ一定	"	三厩村 人口 6,356人
◎三宅島へ北西	2.0	H=50~100	5	0.6~3.5 kt ENE 方向 流向やや一定	石灰質、軟泥粘土の混り	三宅島 人口 4,808人 既設電力 4,280kw
◎八丈島の南	1.5	H=50~100	2	1.0~2.5 kt SE 方向 流向ほぼ一定	"	八丈島 人口 10,318人 既設電力 7,000kw
新島の北西	1.5	H=50~100	4	" NE 方向 流向やや一定	"	新島 人口 3,685人 既設電力 2,400kw
御蔵島の北西	1.0	H=50~100	2	" ENE 方向 流向やや一定	"	御蔵島 人口 177人 既設電力 120kw
◎足摺岬の南	5.0	H=50~100	12	0.5~3.0 kt NE 方向 流向ほぼ一定	砂	土佐清水市 人口 24,856人
◎屋久島の南	1.5	H=50~100	8	0.3~3.5 kt 方向 流向やや一定	"	屋久島 人口 16,110人 既設電力 水力 53,750kw
口永良部島の東	1.0	H=50~100	1.5	0.3~2.0 kt ENE 方向 流向やや一定	"	口永良部島 人口 268人
トカラ列島 口之島の北	2.0	H=50~100	7	0.3~2.0 kt ENE 方向 流向やや一定	"	口之島 人口 229人
トカラ列島 諏訪瀬島の北西	1.0	H=50~100	1.5	1.0~3.0 kt NNE 方向 流向ほぼ一定	"	諏訪瀬島 人口 66人
八重山諸島 与那国島の東	2.0	H=50~100	3	1.5~2.0 kt N 方向 流向ほぼ一定	石灰質の軟泥	与那国島 人口 2,155人

注1. ◎印は当面の観測実験対象の候補地点

2. 人口は昭和50年国勢調査による。

表 2 本邦における潮流エネルギー

地区	海峡名	流速	巾	深さ	通過する 潜在エネルギー	備 考	開発の 難易
四 国	鳴戸瀬戸	knot 10~6	m 1,300	m 5~50 平均20m	万kw 150	(1)海峡中央の巾400mは航路となっている。 (2)荒天時波高し	有 望
	来島海内海峡 (瀬戸内)	6.5~3.5	2,000	50	30	航路として重要	難
中 国	早瀬瀬戸 (広島島湾)	4~3	200	20	1.6	(1)航路に関係少し (2)波がない	やや 有望
	津ヶ瀬瀬戸 (広島島湾)	6~4	1,000	20	14		可
	イガイ瀬戸 (同上)	6~4	1,000	20	14		可
	怒知島水道 (同上)	6~4	1,000	20	14		可
	大畑瀬戸 (同上)	7~5	800	20~60	15	本土に接する	有望
九 州	平戸瀬戸 (生月瀬戸)	8~5	800	8~20	30	大波がくる	可
	八代海南部 (長島海峡)	8~6	2,000	70	420		可
	同 (黒瀬上戸)	8~6	500	50	75	本土に接する 大波がこない	
	針尾瀬戸 (西九州)	10~6	300	25~43	30	大波がこない	有望
北・ 海東 道北	津軽海峡口	7~4 1日1回 しか変らず 反流がない	18,000	100~200	2,600	海流の強さが潮流の 強さよりも強いから 反流がない	難

大型水車を、海中の強流中に有効な姿勢で、長期作動可能な状態で、設置、固定する経済的な方法の発見が根本的な問題となる。この場合、海流エネルギーは、他のエネルギーに比し、流況に変動はあっても予期し得る周期的な変動であって、これを利用する場合、安定した発電量を期待し得ることが大きな特徴となる。したがって海流発電計画を経済的に成立させるためには、個々のケースにおいて、総工費が発電量を基準とした許容範囲内で可能なような全体的なレイアウトを採用しなければならないことは言うまでもなく、これが計画の成立を左右する最大の問題となる。

これを決定する要素を要約すれば

1. 設置点の選定
2. 設置方式
3. 発生動力の利用方式
4. 以上の条件に適したプラント及び全体システムの採用

となるであろう。

1. の設置点については

- 1) 現地流況
- 2) 陸岸との距離

3) 水深

4) 海底の地形、地質

5) 現地の一般環境条件が問題点となる。

1) の現地流況は発電量を決定する最大の要素であり流速は、出力に対し3乗で比例するので、少しでも流速の大きいところをえらばなければならない。

2) の陸岸との距離は、水車の発生出力の利用に対し、重要な要素であり、なるべく近い方がよいが、場合によっては、陸と無関係に自家消費の形で考慮せねばならぬ場合も生ずる。

3) の水深は、外洋海流等、大水深の場合と、海峡潮流の場合の水深の小さいところでは、根本的に水車型式、設置方式が異なってくる。水深は、プラントの規模をきめる重要なファクターとなる。

4) 海底、地質、地形は主としてプラントの係止の点で大きな影響を持つ。特に浅海部では流況は海底地形に大きな関連があるので、設置点の選定にも大きな影響を与えるものである。

5) 一般環境条件については、候補海域の海面使用状況、他産業との関連等から利用し得る海域の制限、

また、海域使用に関する法例等の条件につき、慎重に検討を要する。また、建設基地との距離的な条件も大きな要素となり得る。

2. の設置方式については

- 1) 設置条件下での水車プラントの海底への固定方式
- 2) 水車プラント及び発生動力の利用方式を含む全システムの設置方式。
- 3) 設置後のメンテナンス方式
- 4) プラントの長期作動を可能ならしめるための素材、防錆処置の撰択。

が問題点となる。

1) については、海流中に水車プラントを設置、固定するためには、いずれにせよ海底に支点が必要となる。強流の水圧に抗して、水車プラントを一定深度に有効姿勢を保持させて固定させるためには、単に錨定係止索による姿勢保持、海面浮体よりの懸吊等の方式では経済的に困難であろう。何等かの対策が必要となる。

2) 水車プラントの発生動力を陸に導いて電力化するためには特に外洋海流を対象とする場合、この設置のための費用は施工費の大きな部分を占めることになる。全体的にこれを軽減し得る考慮が必要となる。

3) 設置後のメンテナンスも大きな問題となる。海中での中間的なメンテナンスは殆んど不可能と考えられるので、これを予期した設計が当初から要求される。

4) については言うまでもなく、なるべく長期間そのまま作動し得るよう新材料の使用、また防錆については十分な研究を要すると共に、大巾に部品交換方式の採用が必要となるであろう。生物附着の問題については実験的に対策を研究してゆかねばならない。

3. の発生動力の利用方式については

- 1) 水車出力の発電機への伝達システム
- 2) 水車出力特性に適應する利用目的の撰択
- 3) この目的のためのシステム及び所要パーツの開発
- 4) 他動力源との併用の検討
- 5) 他産業との共存条件の検討

が問題点となる。

1) については、流速が低いので、水車は大型化し、したがって水車の回転数は低く、何等かの方法での増速方式が必要となる。また低回転発電機の開発も要求されることになる。増速装置として機械的に処理するか、水車を動力水車として、定容積型のポンプを駆動し、ヘッドアップした水を陸岸に導いて、発電水車を

陸上に置くことを考えるか、この判断が重要な要素となる。

2) については、海流発電の場合、自然流である海流をそのまま利用するため、発生電力に変動が起こることは避けられず、一般商用電源系に組入れられるように電力の質規正を行うためには、特別な変電設備が必要となり、特に海峡潮流の場合は大きな問題となる。しかしながら、海流発電の最大の特徴の一つは、その原因となる海流の流況に変動はあっても、これは予想し得る周期的な変動であって、得られる電力変動も確実に把握し得ることである。したがって、利用側に、発生電力を一般商用電源としての高度規正を必要とせず、そのまま利用し得る用途が考えられるならば全体的な経費を著しく軽減し得るであろう。

また、海峡等を利用する小規模の計画では、単に電力化を目的とせず、地域的な要求にしたがって水車出力の直接利用も考えられるであろう。

これを要するに、発電条件は、場所により個々に異なるので、一般電力系への組入れが原則ではあるが、単にこれにとらわれることなく、利用目的を撰択することも、海流エネルギーの利用を経済的に成立させる手段となるであろう。

3) 海流発電は本質的には陸上水力発電方式と同じであり、これは既に確立された技術分野である。しかしながら海流発電の場合は発電条件が大きく異なるのでこれにとらわれることなく、発電方式に対する全体的なシステム及び、水車プラントのみではなく、効率のよいポンプ、低回転発電機、その他、海中環境に應ずる機器類等、これに必要なすべての要素につき、この目的のための新たな技術を注入した開発が必要であることはいうまでもない。

4) 特に小規模の直接利用を考える場合、この水車出力を基幹として、需給の実情に応じ、石油、一般電力系の補助系として全体系に組入れて使用することは有利な方法と考えられる。また例えば津軽海峡のような相当大きな電力が考えられる場合、陸上高所に調整池が設けられるならば、海中には、水車とポンプのみで発電系は陸上に設置してコンスタントな発電を行うことが可能となり、極めて有利な条件となり得るが、此の場合、更に余剰電力による揚水発電の併用も考えられるであろう。海流発電の場合、他の動力源を如何に組合わせて利用するかが大きな要素となり得る。

5) この海流発電は、新たな方式であり、これをはじめるためには、他産業との関連が大きな問題になる

であろう。十分な理解の下に進めねばならぬことは言うまでもないが、このためには、まず小規模のテストプラントからはじめて、その実績により、全体を把握させてゆくことが必要であろう。主たる関連産業、交通及び漁業については、地域の実態に応じて充分の考慮が必要であると共に、他産業にもメリットを生ずるような方式をとり、共存条件を検討することも海流発電成立のための大きな要素となるであろう。また環境に与える影響は、環境により起される影響とともに充分の検討を必要とする。

4. のプラント及び全体システムを計画する上でまず問題となるのは海流、潮流より動力を得るための水車であろう。このための水車の方式として種々提案されているが、ここでは技術的な点には立入らず、海流発電の動力水車について、一般的に考察を行いたい。海流発電と陸上発電の水車を比較して異なる点は、まず陸上発電では水車への入力流は直径数 M の管内流であるに対し、海流発電では巾数 Km から 100 km 以上、厚さ数 10 m から数 100 m の海流、潮流が対象である。いわば入力は無量大と考えてよく、従って水車の効率の概念は成立しない。一般には水車への入力を水車の投影面積を通過する流量と定義して水車の効率を求めているが、この定義は多分に任意のもので、同じ種類の水車間ではともかく、他種の水車間の比較にはあまり意味がない。海流発電の水車で重要なものは従って経済的な効率ということになるが、これは考えてみれば逆であり陸上発電では水車への入力流はダム等により得られる、経済的投資の成果であるからその利用の効率が問題となるのであって、ダム等を必要とせず、入力流が無料の海流発電では水車の効率は、経済的な効率と直接結びつくものではない。ただし、水車の効率は必要な出力を得るための水車の大きさを決定するもので同種の水車間ではシステムの建造費、ひいては経済的な効率を決定する要因となり得るが、異なる方式の水車の比較を行うことはできない。逆に、海流発電の水車は大きさが必須の条件であり、大型化に適することが、水車の方式の比較の際、重要な要因であろう。もちろん水車の効率もあまり低くてはならない。この様な大型水車の設置、固定、姿勢制御、メンテナンス等が問題であることは前述したが、加えて発電適地までの輸送の問題、深海に係留した場合、係留索に生じる張力の下向成分の問題があり、全体システムの計画の際、考慮しなくてはならない。また、海峡等、浅い海での発電を行う場合、必要な水車正面面積を確保する

には深さが不十分な場合もある。この様な場合、水平方向に長ければ、必要な正面面積が得られるわけで、水車の正面形状も選択の際の要因となろう。プラント及び全体システムの計画にあたっては、以上の問題点に対し、具体的な対処案^{1), 3)}を検討し、最終的には、経済的な効率により決定すべきである。

あ と が き

資源の価値は世界的な問題として年々その重要性を増しつつある。有力な自己資源をもたない国家は一流国家の位置を保つことが困難となる日も遠からず来るようにも考えられる。狭小な上殆んど何の陸上資源もない我国が、将来の繁栄を保つための唯一の活路は海にしかないと言っても過言ではないであろう。この場合の海洋開発とは、従来の陸にないものを海に求めるというようなことではなく、海洋を陸上の延長として、陸上なみに開発してゆく、本格的なものでなければならぬ。このためには、従来の陸上中心の考え方を棄てて、海洋を含めた総合的な見地から、個々の状況に応じて目的を達成する体勢をとることが必要であろう。

海流発電について、当初に考えられるのは海峡潮流の利用であろうが、これも目的を単に商用電源に限ることなく、その地区の特性に応ずるエネルギーの利用方式を考えてゆくことが必要であろう。

更に、黒潮を利用する発電は、国家的な見地から計画されるべきもので、将来大深度への設置も充分考慮し得るので、将来の本格的な海流開発が行われるに際しては、海洋中における独立したエネルギー源として大きな意義を持つに至るであろう。

以上を総括して、海流エネルギーの利用は、現在の技術水準で直ちに施工し得るものであり、今後の研究により我国の先端技術を採り入れ得る体勢が得られるならば、更に低廉な事業的採算をとり得るものになるであろう。速やかな、順序を追った、本格的な開発着手を期待するものである。

参 考 文 献

- 1) 海法泰治:「流れの中で自己安定を保つ全没係留型水車」について、「資源」特集・海洋エネルギーの開発利用 Vol. 33, No. 207, 1980.
- 2) 海洋科学技術センター:「海流発電の研究」報告書 昭和 56年 9月
- 3) 海洋科学技術センター:「潮流発電の調査研究」報告書 昭和 57年 3月