

H

11/12

No.

Date 55.5.25

海流水車発電の Feasibility Study

別添E 利

概観	頁
	1
1. 水車発電の運動量理論	4
2. 案内翼の効果	8
3. 水平型水車の要素理論	12
結論	16

図 1.

概観

自然エネルギーの特徴は密度が小さい事と定常性がない事である。

太陽、風力、潮流（ここでは干潟によるものを指す）波力は正に代表的なものである。

自然エネルギーでもこの2つの欠点を克服したものはすでに利用されている水力発電である。又今開発途上にある地熱発電もまたこれらの欠点が比較的少ないものである。

しかし現在考えられている他の自然エネルギー源はすべて密度が小さいという欠点はまぬがれない。（最近注目を浴びている生物エネルギー利用は密度の濃縮方法と考えられる）

もう一つの定常性がない事に就いては太陽に比べ砂漠とか宇宙空間に持つて行くという考え方があつた。つまり定常性を持つてくるものを利用すると言う考え方である。

その点 海水の密度差、温度差等を利用

するのは良案であると考えられ、同様に海流（黒潮等も指すものとする）を利用するのも一つの方法と考えられる。

しかし密度が小さい点は受け入れない。

今2倍（1 m/sec）の海流が断面積 A (m^2) を通過するとしてそのエネルギーは

$$E = \frac{\rho}{2} A V^3 \doteq 50 A \text{ kg m/s} \doteq 0.5 A \text{ kW}$$

であるから 1万 kW を得る為には効率を50%に見込んで $A = 200^m \times 200^m$ を必要とし水車は巨大なものになる。

なお風力でも同様で風速 $V = 10 \text{ m/sec}$ とすると

$$E_a = \frac{\rho_a}{2} A V^3 \doteq \frac{50}{8} A \text{ kg m/s} \doteq 6 A \text{ kW}$$

ここで風速 10 m/sec は略水流 1 m/sec に相当し、風車は巨大でなければならぬ。

従って潮流、海流、風力利用の要点は如何にして巨大な水車を造るかと言う所

に)開発の重点がおかぬば"ならない。

現在の技術で可能な巨大構造物(可動の)としては船と飛行機であるが明らかに桁違い。船の方が大きく且つ安価に建造可能である。

その違いは船の場合は水の浮力が利用出来、従って安価に鋼材でつくれるからである。

以上の考察から海流エネルギーの利用は定常性において優れており、水の浮力を利用して浮遊式構造とし空気中に出る部分をなくして水平式(アト・シナイドンフロペラを水車として使う形式)とする方法が有望である。

さらに前述のように効率はいさゝかの不足を補うために浮遊式案内翼を多数配置に効率向上をはかる事が望ましい。

もう一つの考え方は巨大なダクトによって海流を増速し水車の小型化をはかる事であるがこの場合でもなおかつ大型になる事は避けられないであろう。

1. 水車発電の運動量理論

右図のような水車を考えよう。

流速は無限上流で U 、

下流伴流中で $U(1-s)$ 、

と仮定とする。

水車中は B 、吃水を H とし

$$BH = A \quad (1)$$

と仮定する。

水車面での流速はよく知られているように

$U(1-\frac{s}{2})$ であるから、流量 Q は、

$$Q = AU(1-\frac{s}{2}) \quad (2)$$

次に運動量損失から水車に働く力 R は

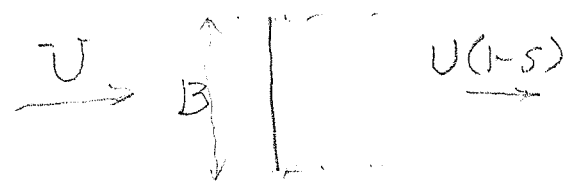
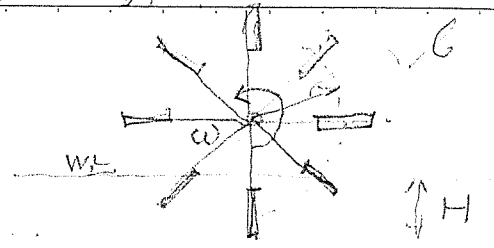
$$R = \rho Q(sU) \quad (3)$$

また、矢印の水の運動エネルギー E_L は

$$E_L = \frac{\rho}{2} Q [U^2 - (1-s)^2 U^2] = \frac{\rho}{2} Q U^2 (1-\frac{s}{2}) \quad (4)$$

一方、断面積 A に流入する運動エネルギー E は

$$E = \frac{\rho}{2} AU^3 \quad (5)$$



水車の効率 η が 100% ならば E_L をけのエネルギー——
を利用出来るので E_L/E を仮に理想効率 η_i と
呼んでおこう。

$$\eta_i = \frac{E_L}{E} = 2s \left(1 - \frac{s}{2}\right) \frac{Q}{AU}$$

$$= 2s \left(1 - \frac{s}{2}\right)^2, \dots (6)$$

$$\frac{d}{ds} \eta_i = 2 \left(1 - \frac{s}{2}\right) \left(1 - \frac{3}{2}s\right), \quad 0 < s < 1, \quad (7)$$

であるから

$$s = \frac{2}{3}, \dots (8)$$

において η_i は 最大で

$$\text{Max}[\eta_i] = \frac{16}{27} = .593 \quad (9)$$

次に水車に働く動力 P は

$$P = \omega l R, \dots (10)$$

l は着力点までの半径, ω は水車の角速度。

$$\text{今} \quad \omega l = U(1 - s_w), \quad (11)$$

とかくと、水車の効率 η_T は

$$\eta_T = \frac{P}{E_L} = \frac{s P Q U^2 (1 - s_w)}{s \left(1 - \frac{s}{2}\right) P Q U^2} = \frac{1 - s_w}{1 - \frac{s}{2}} \quad (12)$$

$$\eta_T < 1$$

よりの発電効率 η は

$$\eta = \eta_1 \eta_T = 2s(1 - \frac{s}{2})(1 - s_w) \quad \dots (13)$$

となり $\eta_T < 1$ であるから $\eta < \eta_1$ である。

さて、水車羽根面積を A_w とし、羽根と水との相対速度は

$$V_R = -U(1 - s_w) + U(1 - \frac{s}{2}) = U(s_w - \frac{s}{2}) \quad (14)$$

であるから羽根の抵抗係数を C_D とすると

羽根に働く抗力 R は

$$R = \frac{\rho}{2} A_w U^2 (s_w - \frac{s}{2})^2 C_D \quad \dots (15)$$

よって (13) と等置すると

$$5\rho A U^2 (1 - \frac{s}{2}) = \frac{\rho}{2} A_w U^2 (s_w - \frac{s}{2})^2 C_D \quad \dots$$

$$\frac{A_w}{A} = \frac{2.5(1 - \frac{s}{2})}{C_D (s_w - \frac{s}{2})^2} \quad \dots (16)$$

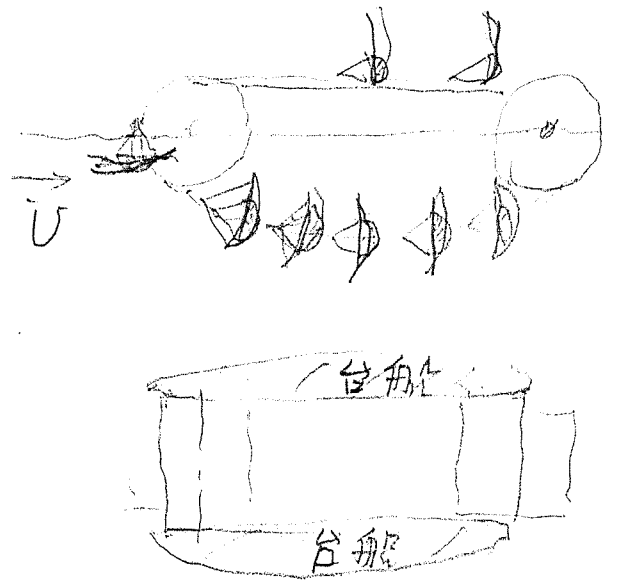
この式によつて A_w が与えられれば s_w が決まり、 η_T, η が求められる。

図1に示すように $\alpha = C_D A_w / A$ が小さいと効率は大変低い。又 $\alpha = 10$ とした $\eta = 30\%$ 程度である。

A_{10} が A の約10倍と言う事は 羽根が水中に10個以上なければならぬし、又 羽根間隔が小さく C_D が小さくなるので 効率が悪くなるから、通常の氷車型では α を大きくする事は困難であろう。

水中の羽根数を多くする点から考えれば、ベルトコニバ式にしてバケットを多数つけた方式が考えられる。

これを双胴浮船に装備する事になると氷車に比して小型となり建造が容易であり又繋留等に便利であると考えられる。



2. 案内翼の効果

前節で見たように水流エネルギーの利用効率^{カウ}_{フロパラ}が大変低いのは、 η_i が小さい為であつて水車効率の方はカプラン（フロパラ）型（フランシス型等は作揚程であるから考えられない）を考えればもう少し改善の余地はある。

本節では η_i を改良する事を考えよう。

(6)式から η_i を大きくするには流量 Q を大きくする以外にないので案内羽根を設置して水車面に流れを誘導する事を考える。

流れは二次元的であると仮定し案内翼は1ヶの渦で代表出来る^カと簡単化しよう。

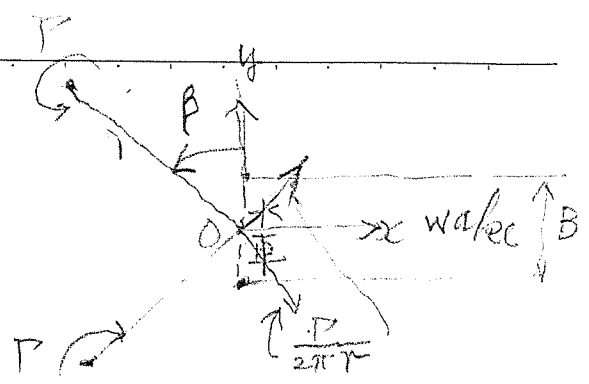
そのサーキュレーション Γ は揚力係数を C_L とし弦長を c 、深さ方向の翼幅を h とすると

$$\rho U \Gamma h = \frac{\rho}{2} U^2 c C_L, \quad \text{であるから}$$

$$\Gamma = \frac{c U C_L}{2}, \quad \text{--- (17)}$$

案内羽根は左右対称に2ヶ真圓のように配置する水車幅に比べて充分遠く配置

される ($r \gg B$) ときのように、
2対の渦による原点の
流速速度 (tU) は



$$t = \frac{P}{\pi U} \frac{\cos \beta}{r} = \frac{C_L}{2\pi} \cdot \frac{C}{r} \cos \beta, \dots (18)$$

速度ポテンシャル f_w は (符号?)

$$f_w(z) = \frac{P}{2\pi i} \log \left(\frac{z - r e^{i\beta}}{z - r e^{-i\beta}} \right), (19)$$

であるから無限遠方では

$$f_w(z) \xrightarrow{|z| \gg 1} \frac{iP}{\pi} \frac{r \cos \beta}{z} + \dots (20)$$

となりダウレット項であるから 伴流速度には
何等影響しない。

よって、案内翼の効果は 伴流に直接なく、
水車面で増速し
流量を増す事である。

水車面の速度は (18) に増速を小から

(2) を考慮して 今度

$$Q = AU \left(1 + t - \frac{s}{2} \right), \dots (21)$$

となり (6) から

$$\dot{Q}_{iw} = 2s \left(1 - \frac{s}{2} \right) \left(1 + t - \frac{s}{2} \right), \dots (22)$$

あるいは

$$\left. \begin{aligned} \eta_{iw} &= \eta_i \cdot \eta_G \\ \eta_G &= \frac{1+t-\frac{1}{2}}{1-\frac{3}{2}t} \end{aligned} \right\} \dots (23)$$

とかけて η_G は案内盤による効率向上率である。
案内盤は多数設置すると考えるので"1は1/8)

のかわりに

$$t = \frac{1}{2\pi} \sum_j \frac{C_j}{r_j} C_j \cos \beta_j, \quad (24)$$

と存在が"寸法"が1に

$$\beta_j = 0, \dots (25)$$

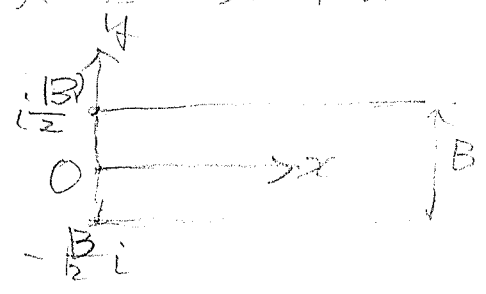
がわとも効果が"良い。

これは一見奇妙であるが水をせきとめる方が
水車面の増速に最も効果的なのであると
考えれば"理解出来る。 水車の真横に"数組

いづれにしても大きな羽根を"設置する事により
t=1程度 従って $\eta_G \approx 2$ 程度確保する
事は困難ではなからう。

なおこの場合の水車の数学模型は水車の面を
 吹き出しを分布させたもので

速度分布は



$$\frac{df_T}{dz} = w_T(z) = \frac{m}{2\pi} \int_{-\frac{iB}{2}}^{\frac{iB}{2}} \frac{dy}{z - iy}$$

$$= \frac{mi}{2\pi} \log \left(\frac{z - \frac{iB}{2}}{z + \frac{iB}{2}} \right) \quad (26)$$

で伴流の外縁つまり^{本方}±iBからx軸に平行な
 直線をcutとし、その上下で速度がm
 だけ jump する。

それ故1節の記号では次のように書ける。

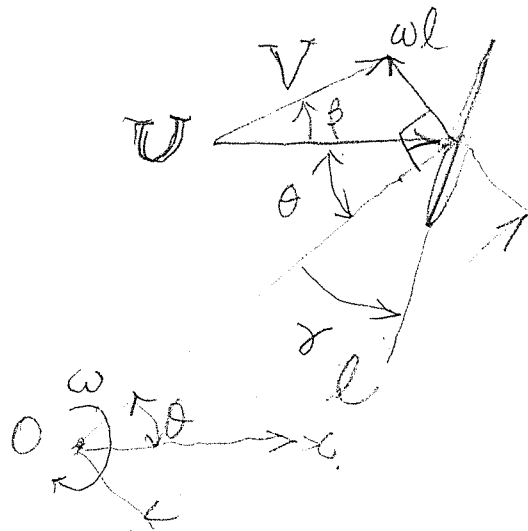
$$m = sU \quad (27)$$

3. 水平型水車(フォイト・シナイダー・フロペラ型) の要素理論

この型の水車効率については フォイト・シナイダー・フロペラ理論が適用出来 また 実用上は実験的に研究する方が矢張り早いと思われ、 α 以下誘導速度を一切考慮しない所謂要素理論を展開して見よう。

また簡単の爲に 2次元の流束とする。

また一つの羽根を取り出してそれを原点の周りに角速度 ω で回転していると考える。



中心から羽根迄の距離を l とすると羽根の流入速度 V は

$$V = \sqrt{U^2 + \omega^2 l^2 - 2U\omega l \sin\alpha} \quad \dots (28)$$

原点から羽根への動径と弦長線の傾きを γ とすると相対水流 V に対する羽根の入射角 α は

$$\alpha = \gamma + \theta - \beta \quad , \quad \dots \quad (29)^*$$

で

$$V \sin \beta = \omega l \cos \theta \quad , \quad \dots \quad (30)$$

$$V \cos \beta + \omega l \sin \theta = U \quad , \quad \dots \quad (31)$$

存在条件がある。

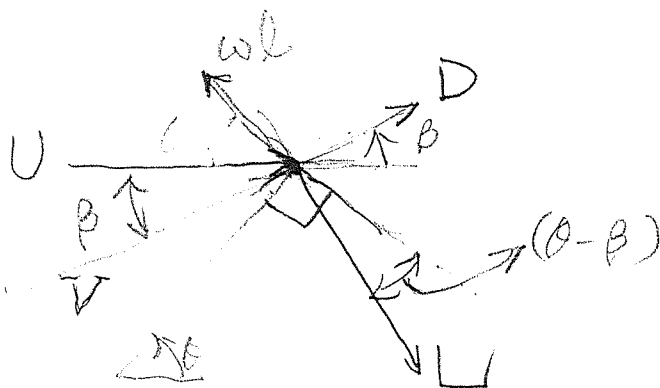
また一般に

$$\frac{\omega l}{V} < 1 \quad , \quad \dots \quad (32)$$

よって (30) より常に

$$|\beta| < \frac{\pi}{2} \quad , \quad \dots \quad (33)$$

水車のトルクを M , 抗力を R としよう。



羽根に働く揚力 L 抗力 D とすると,

* $|\theta| > \frac{\pi}{2}$ では $|\alpha| < 0$ と反対符号になっているので以下 $|\theta| < \frac{\pi}{2}$ のみ考える。 $|\theta| > \frac{\pi}{2}$ では符号が異なって来るので注意。

$$M = \rho L [L \cos(\theta - \beta) + D \sin(\theta - \beta)], \quad \dots (34)$$

$$R = L \sin \beta + D \cos \beta, \quad \dots (35)$$

この羽根面積を A_w とする。

$$\begin{cases} L = \frac{\rho}{2} A_w V^2 C_L(\alpha) \\ D = \frac{\rho}{2} A_w V^2 C_D(\alpha) \end{cases} \quad \dots (36)$$

であるが、今 α が一定となるように (2.9) によって θ を制御する場合を考えると C_L, C_D は一定となり、今

$$\frac{C_D}{C_L} = \tan \varepsilon, \quad \dots (37)$$

のように ε を定義しておこう。

この場合水車効率とは得られるトルクと羽根揚程との比として定義されるが、揚程に反対するものは抗力 R であるから

$$\eta_T(\theta) = \frac{\omega M(\theta)}{U R(\theta)}, \quad \dots (38)$$

$$\eta_T(\theta) = \frac{\omega L}{U} \frac{C_L \cos(\theta - \beta) + C_D \sin(\theta - \beta)}{C_L \sin \beta + C_D \cos \beta} = \frac{\omega L}{U} \frac{\cos(\theta - \beta + \varepsilon)}{\sin(\beta + \varepsilon)} \quad (39)$$

$$T = \frac{1}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} T(\theta) d\theta = \frac{\omega l}{\pi V} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{\cos(\theta + \epsilon - \beta)}{M(\beta + \epsilon)} d\theta, \quad (40)$$

β は θ の周数で (30) 又は (31) で与えられ ϵ は α の周数で (29), (37) により θ と α の周数である。

よって T が最大となるように θ と α の周数周係を決めればよい事になる。

これは少々計算して見なければならぬ。
 いづれにしても フォロワの場合と同様 ^{の無次元値} トルク
 効率等はすべて $\omega l/V$ の周数である。

結論

以上の考察から海流エネルギーは定常性において地熱、河川など水力と同様に優れているがエネルギー密度においては大変低く、仮に波力では波幅1m 波速1m に対し、 0.5KW に対し、海流を軸において 1m^2 あたり 0.5KW といはれても大変密度が低いのがその特徴である。それ故その利用には巨大な水車をどのように効率よく建造し運転出来るかが要点となる。

また一般に海流中に設置された水車の発電効率は大変低いと予想されるので案内翼を出来るだけ多数配置して水車への流入流量を出来るだけ増やして(つまりエネルギー密度を増加させる)効率の向上をはからねばならない。

また繋管についてはトルクの伝達の問題となる。

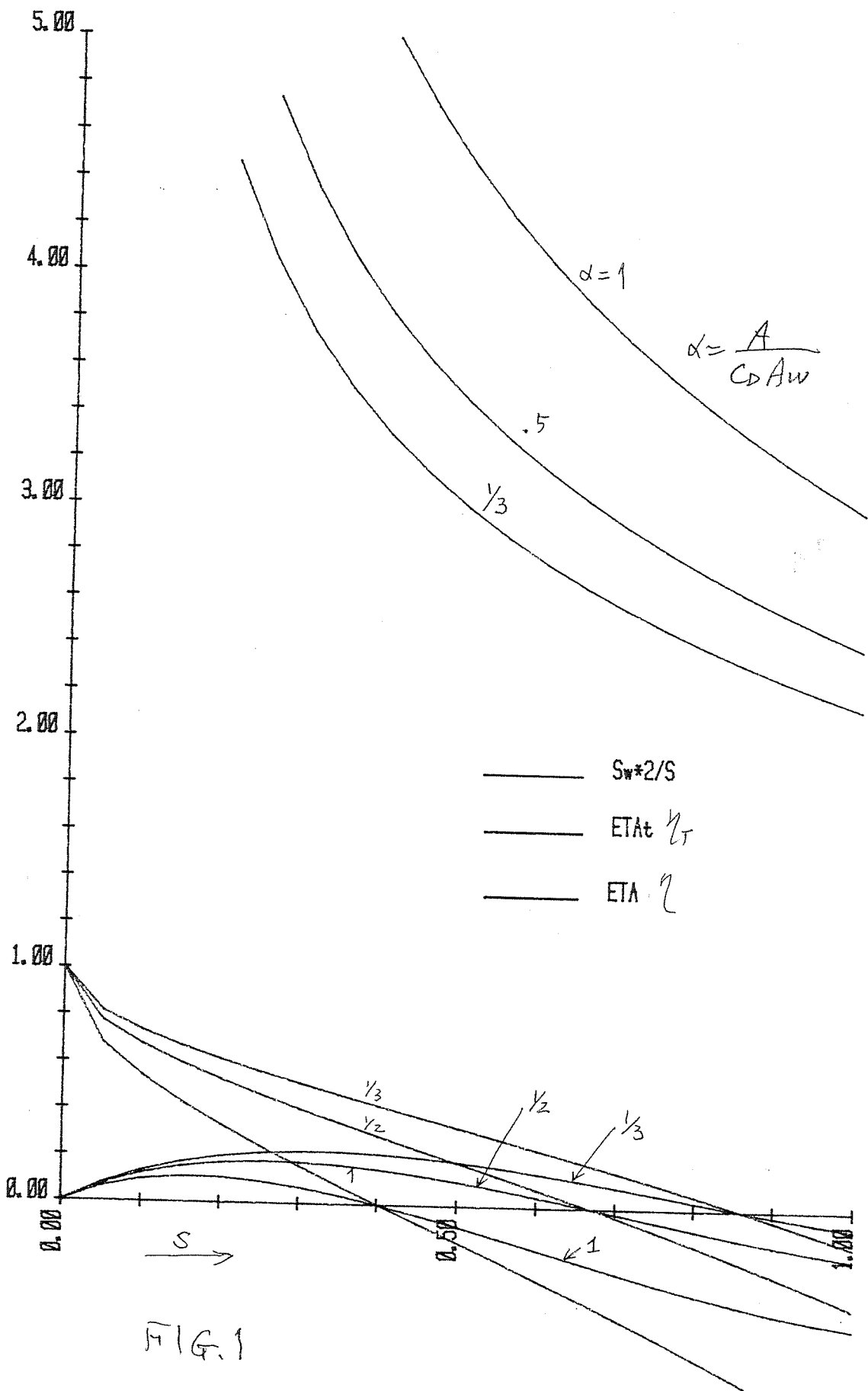


FIG. 1