

## 波力利用電着通電制御に関する研究

大西 毅<sup>\*1</sup> 工藤 君明<sup>\*1</sup>

波浪エネルギーによる海域制御構造物の形成を目標として、昭和61年より3箇年計画で波力利用電着形成技術の研究を実施してきた。63年度は強度の優れた電着物を効率よく形成するための電着通電制御方法について調査を行った。実験では変動出力をコントロールし、上限電流を所定の値に制御するとともに、余剰電力をバッテリーに充電し、発電出力の低下時にバッテリーからの放電を利用して電着通電を行うこととした。また電着効率に優れた基盤構造についても調査を行った。実験の結果、上限電流制御により強度の優れた電着物を効率よく形成することが可能であることがわかった。また基盤構造に関して、鋼線にグラスウール材等を巻付けることにより電着効率が向上することがわかった。これらの実験結果より、構造物の形成に必要な波力利用電着の基本的条件を明らかにすることができた。

キーワード：波力利用電着，電着通電制御，基盤構造，電着効率

## Control System of Electrodeposition from Wave Power

Takeshi ONISHI<sup>\*2</sup> Kimiaki KUDO<sup>\*2</sup>

In order to get a hard and solid electrodeposition with high efficiency, we investigated the electrodeposition control system of the wave power generator. We made an experiment on the control system where the current was limited within a certain range. In this system, it was also planned that the remainder of generating power was charged into the battery, and was used for the electrodeposition at a lower wave power level.

Through the experiment, the control system was proved to be effective to get a hard and solid electrodeposition. Moreover, we tested the relation between base structures and electrodeposition rate, and the base structure covered by glasswool was found more favorable to get a high electrodeposition efficiency.

**Key word:** Electrodeposition from wave power, electroeposition control system, base structure, electrodeposition efficiency

---

\*1 海洋開発研究部

\*2 Marine Research and Development Department

## 1. 目 的

海洋科学技術センターでは青いサンゴ礁計画の一環として、波力利用電着技術の研究開発を実施している。本研究では、流れ制御、漂砂固定、人工藻礁あるいは人工魚礁等の各種海域制御構造物を容易にかつ経済的に構築するため、代表的な自然エネルギーである波浪エネルギーを用いた電着形成技術の開発を目的としている。このため昭和61年度より3か年計画で、山形県鶴岡市由良漁港地先の北防波堤に小型波力発電装置を設置し実海域実験を行った。各年度毎の実施内容は次のとおりである。

昭和61年度：実験装置の設計及び据付け

昭和62年度：波力発電出力を直接電着通電し、変動電流条件における電着特性を調査

昭和63年度：電着強度の改善を目的とした、変動出力のコントロールによる電着通電制御システムの調査

電着は海水中に微弱な直流電流を流し、海水の電気化学反応を利用して陰極側部材表面に $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ を主体とした無機系物質を付着（電着）させコンクリート状の部材を形成する技術である。通常電着用部材には、電着効率と構造物としての加工性を考慮して金網構造が用いられる。また電着物の形成量、組成ならびに強度は基本的に電着基盤表面積に対する電流密度と密接な関係にある。この内電着形成量は積算電流量に比例するが、電着物の強度（硬さ）は電流密度が小さい程高く、電流密度が大きい程低くなる。これは硬質の $\text{CaCO}_3$ の割合が電流密度が低い程多くなることによる。

62年度は波力による変動出力を直接電着通電し電着物の特性を調査した<sup>1), 2)</sup>。その結果、電流密度が高すぎる場合、軟弱で脆弱な電着物が形成されることより、電流密度を一定範囲内に抑える通電制御を行う必要のあることが分かった。特に電着の初期には電着物の基盤への固着強度を高めるため電流密度をより低く維持することが必要である。また電着効率を向上するため、無通電期間に対して、上限電流制御により余った電力を有効に使う必要のあることも明らかとなった。

このため昭和63年度では、電着電流の上限値を

所定の値に設定し、電流密度が過大とならないよう制御するとともに、上限電流設定により余剰となった電力を有効に利用することのできる電着通電制御システムについて調査研究を行った。また電着基盤構造の面から、電着に適した基盤構造を明らかにするため鋼線、鋼線・グラスウール（鋼線にグラスウールを巻付）、及び鋼線・スチールウール（鋼線にスチールウールを巻付）の各基盤について電着状況を比較調査した。

## 2. 概 要

### (1) 実験装置

実験装置は図1に示すように、山形県鶴岡市由良漁港沖合にある北防波堤の港内側に設置した。図2に防波堤に設置し実験装置、及び電着通電の概要を示す。実験装置の主要寸法は、全高7.5m（空気室高さは5m）、入射波に対する空気室巾1.5mとなっている。また喫水は1.1mで空気室を上面から見ると逆台形状となっている。波浪は空気室下端から入射し、空気室内で水柱の上下運動となり、空気室内の空気を上下させる。この空気流は弁の作用により小型タービン発電機（AC 24V, 3相, 300V）を一定方向に回転させ、電力に変換された後、直流電源装置を経て海底に設置された電着試験体に通電される。一方、直流電源装置では交流出力を直流に変換するとともに電着電流が所定の条件となるよう通電制御する。

### (2) 通電制御システム

直流電源装置では波力による交流出力を直流に変換するとともに電着電流の上限制御を行う。一方、上限電流制御によって余剰となった電力を電着用バッテリーに充電し、発電出力の低下時にバッテリーの放電を利用して電着通電させる。さらに計測制御用バッテリー（カーバッテリー：12V）に対しても余剰電力を充電し、バッテリーの使用日数の長期化を図った。

上記システムが正常に作動していることを確認するため電着電流、電圧、及び発電機出力側の電流、電圧を把握するとともに計測制御用バッテリーの電圧をモニターする。

(3) 通電開始：昭和63年10月25日

(4) 上限電流設定

4 Amp. : 昭和63年10月25日

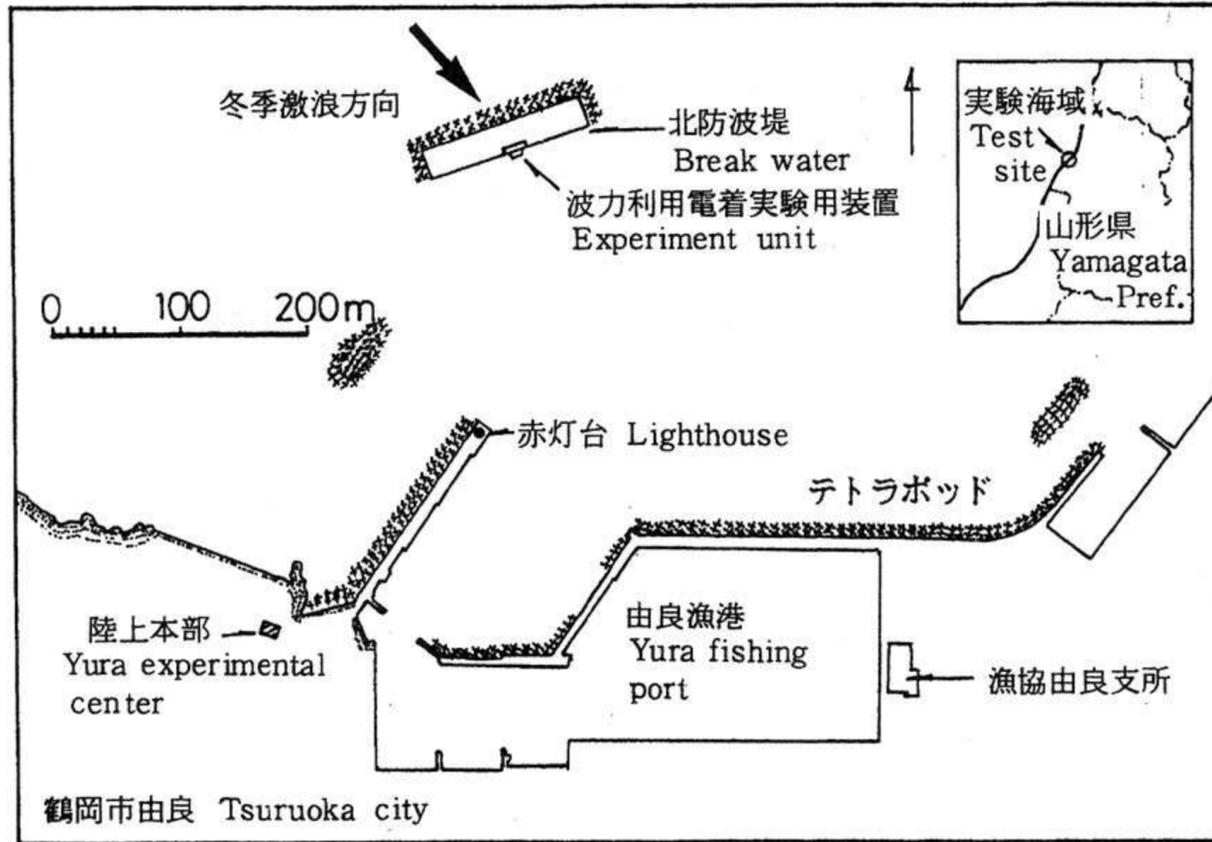


図 1 実験 海 域  
Fig.1 Test site

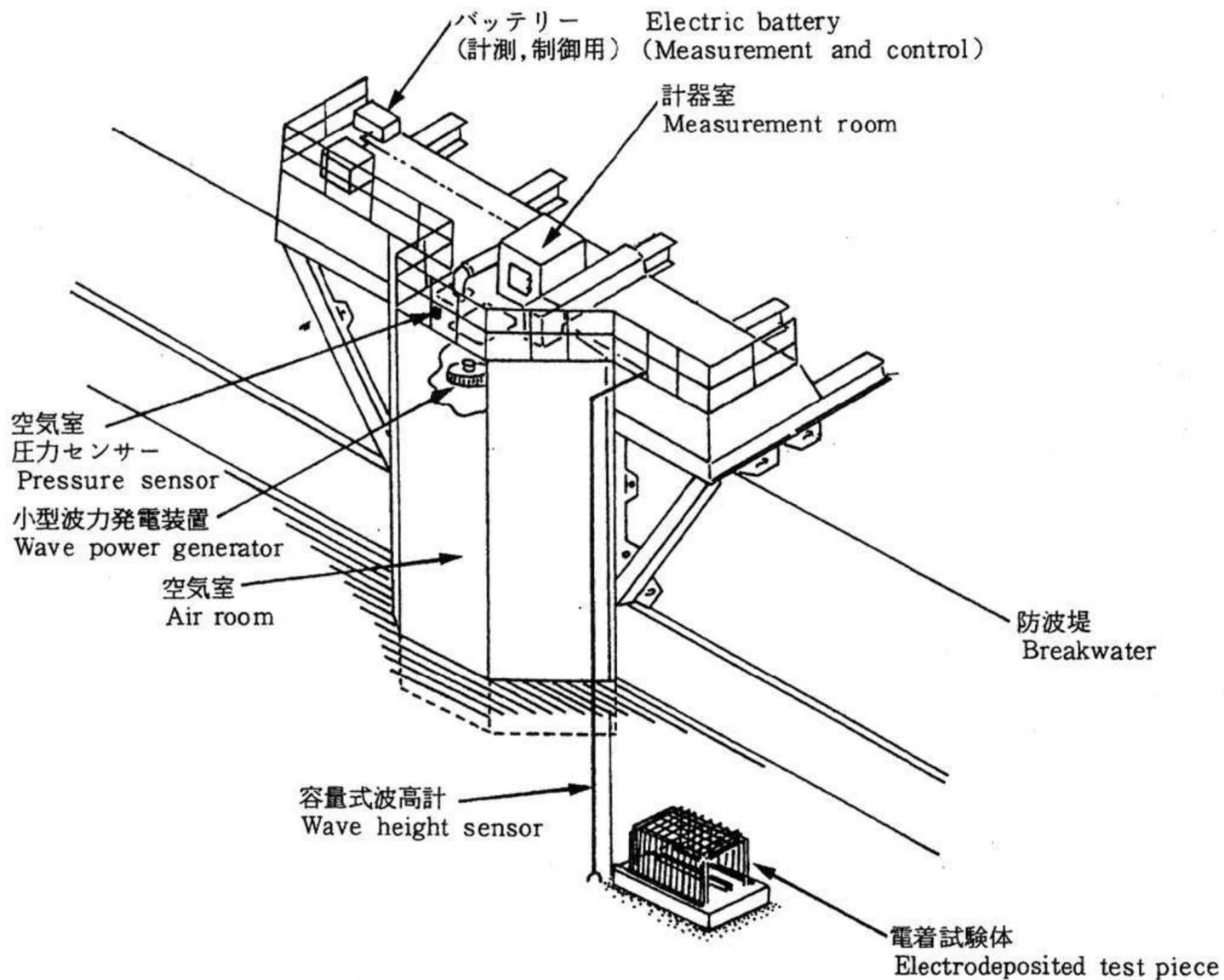


図 2 (a) 機器・装置構成図  
Fig.2 (a) System of electroplating utilizing of wave power

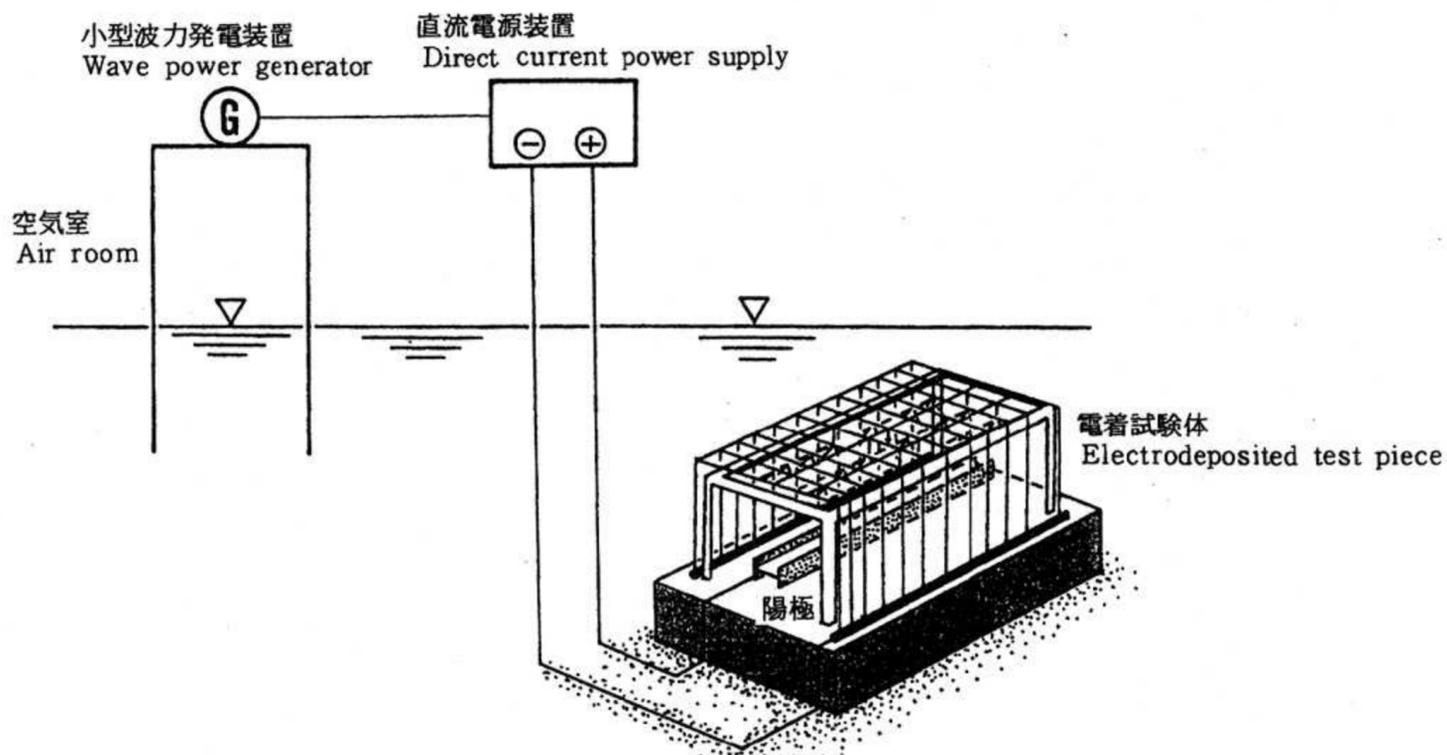


図 2 (b) 電着通電システム  
Fig.2 (b) Schematic view of electrodeposition

8 Amp. : 平成元年 2 月 19 日

(5) 試験片の回収

第 1 回 : 平成元年 2 月 18 日

第 2 回 : 平成元年 4 月 25 日

3. 実験方法

波力利用電着通電において、電流を一定値以下にコントロールし、軟弱な電着物の形成を防ぐとともに、電流制御によってカットオフされた余剰電力を一旦バッテリーに充電し、発電出力の低下時にバッテリーの放電を利用して電着通電を行うことにより発電出力の効率的な使用を目的とした電着通電制御システムについて調査を行った。

3.1 電着通電制御システム

(1) 目的

波力利用電着において、電流を一定値以下にコントロールし、かつ電力の有効利用を図るため、以下の制御を行った。

- ① 波力発電からの電流が設定値を越える場合  
発電出力を設定電流値以下の出力と設定値を超える出力に分割し、設定値以下の出力を電着試験体に通電するとともに、設定値を超える出力を電着用バッテリーに充電する。
- ② 波力発電による電流が設定値以下の場合  
発電出力を全て電着試験体に供給する。
- ③ 波力発電による電流が 0 の場合

波力発電による電力供給が得られるまで電着用バッテリーの放電を利用して電着通電を行う。

(2) システムの概要

図3に通電制御システムの概要図を示す。本図において上限電流制御器は発電出力を設定電流以下の出力と設定電流を越える出力に分割し、設定電流以下の出力を電着試験体に通電するとともに、設定電流を越える出力を電着用バッテリーに充電する。次に発電出力が低下し、0に近い電流状態が一定期間続いた場合には、下限電流制御器の働きにより、電着用バッテリーから電着試験体へ通電を行う。

(3) 機器の構成

図4に機器接続図を示す。機器の主な仕様は以下のとおりである。

- (a) 小型波力発電装置 : AC24V, 3相, 300W
- (b) 直流電源装置
  - (i) 入力 : AC24V, 3相, 300W
  - (ii) 出力
    - 電着通電 : 最大10A, 上限設定電流は4A, 6A, 8A, 10Aの可変設定式
    - 電着用バッテリーの充電 : 最大4.35V, 10A
    - 計測用バッテリーの充電 : 最大14.5V,

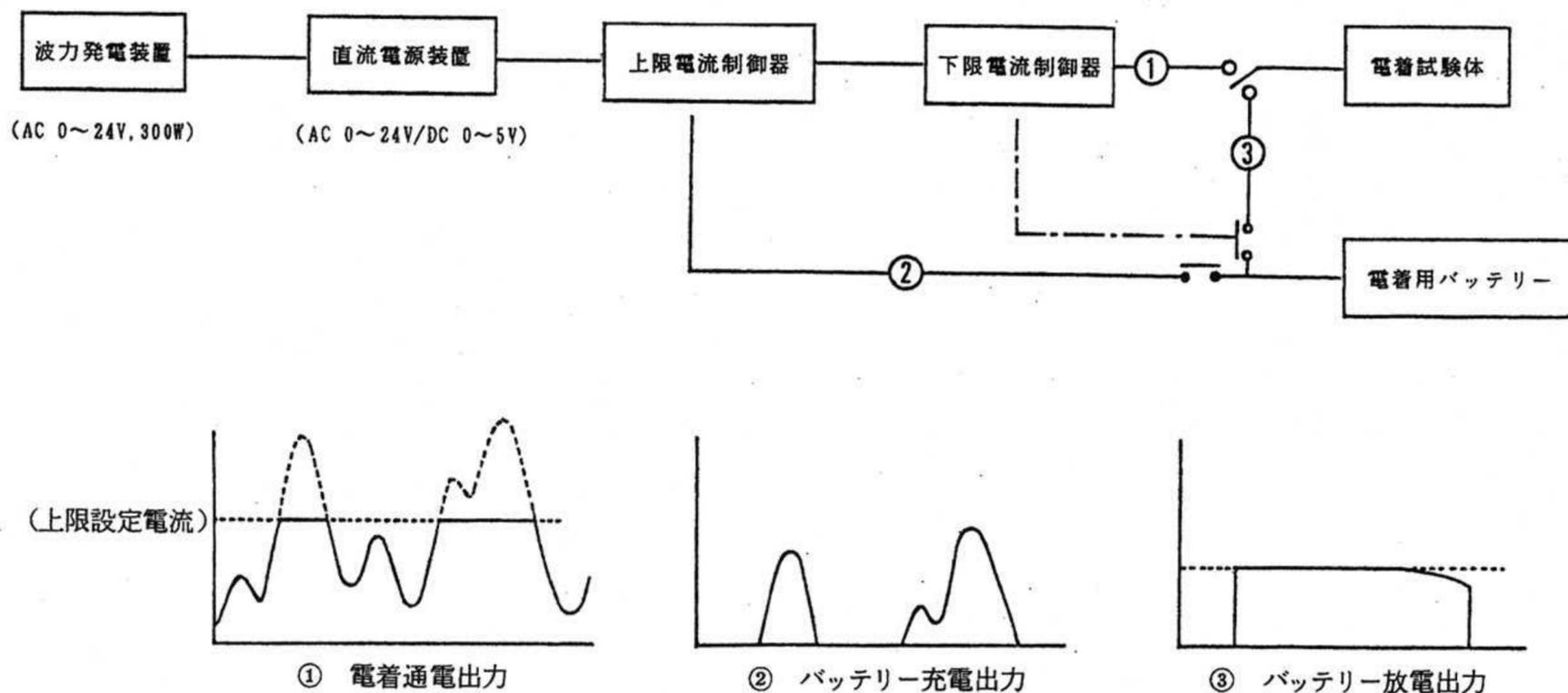


図 3 電着通電制御システム概念の図  
 Fig.3 Outline of electrodeposition control system

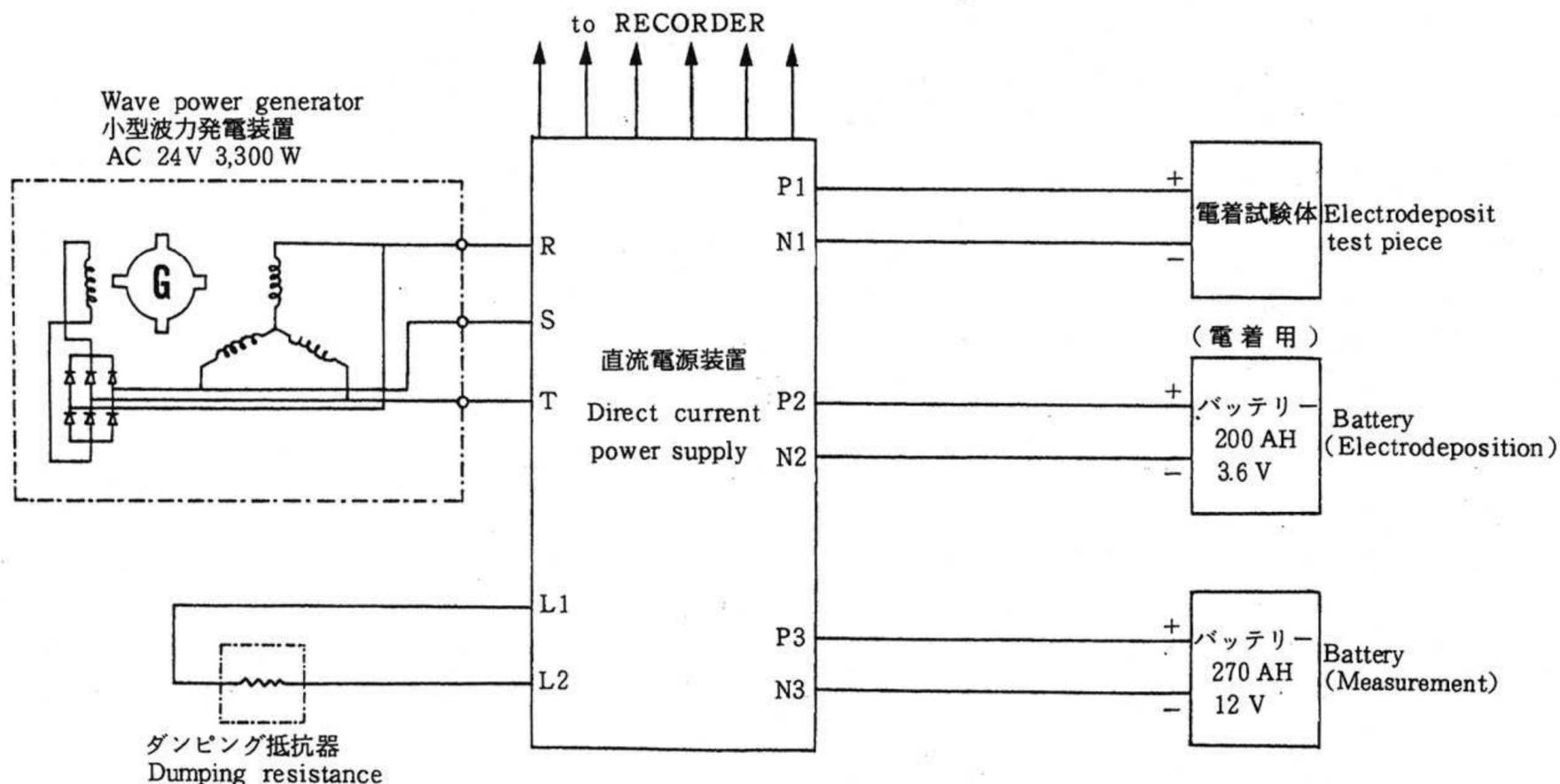


図 4 機器接続図  
 Fig.4 Connection of apparatus

- 10A
- ダンピング抵抗器への通電：最大10A，  
 負荷抵抗は  
 3.3Ω
- (c) 電着用バッテリー：アルカリ電池（3.6V，  
 200AH），1.2V 3台直

- 列
- (d) 計測用バッテリー：カーバッテリー（12V，  
 300AH），9台並列
- (e) ダンピング抵抗器：空気放熱による熱線コ  
 イル抵抗器，3.3 Ω  
 以上

標識ライトを併置し、充電時にはライトを点滅させる。

(4) 通電制御要領

図5に通電制御ブロック図を示す。

タービン発電機出力、電着電流を定期的にサンプリングし、これに応じて次の4つのモードを選択し、発電出力の分配を行う。

(モード1)

大波浪時で発電量が十分あり、電着通電並びに計測用バッテリーと電着用バッテリーの充電を行っても余剰電力が発生する場合

電流制御機能により、電着試験体、バッテリーへの電流を制御する。また安全性を高めるために発電電圧の監視を最優先し、ダンピング負荷抵抗器使用中の表示灯が点灯する。

(モード2)

発電量は十分あるが、計測用バッテリーと電着

用バッテリーの充電により、余剰電力が吸収できる場合

電着電流とバッテリーの充電状態を監視し、バッテリーの充電電流をそれぞれ決定した後、電着用バッテリー、計測用バッテリーに充電する。またバッテリーが100%充電された後はモード1へ移行する。

(モード3)

発電はしているが、電流が上限設定値に満たない場合

電着通電のみ行いつつ電流を監視する。1時間以上連続して0.1A以下の状態が続いた場合にはモード4へ移行する。

(モード4)

発電出力が得られず電着用バッテリーから通電する場合

電着用バッテリーから電着通電が行われる発電

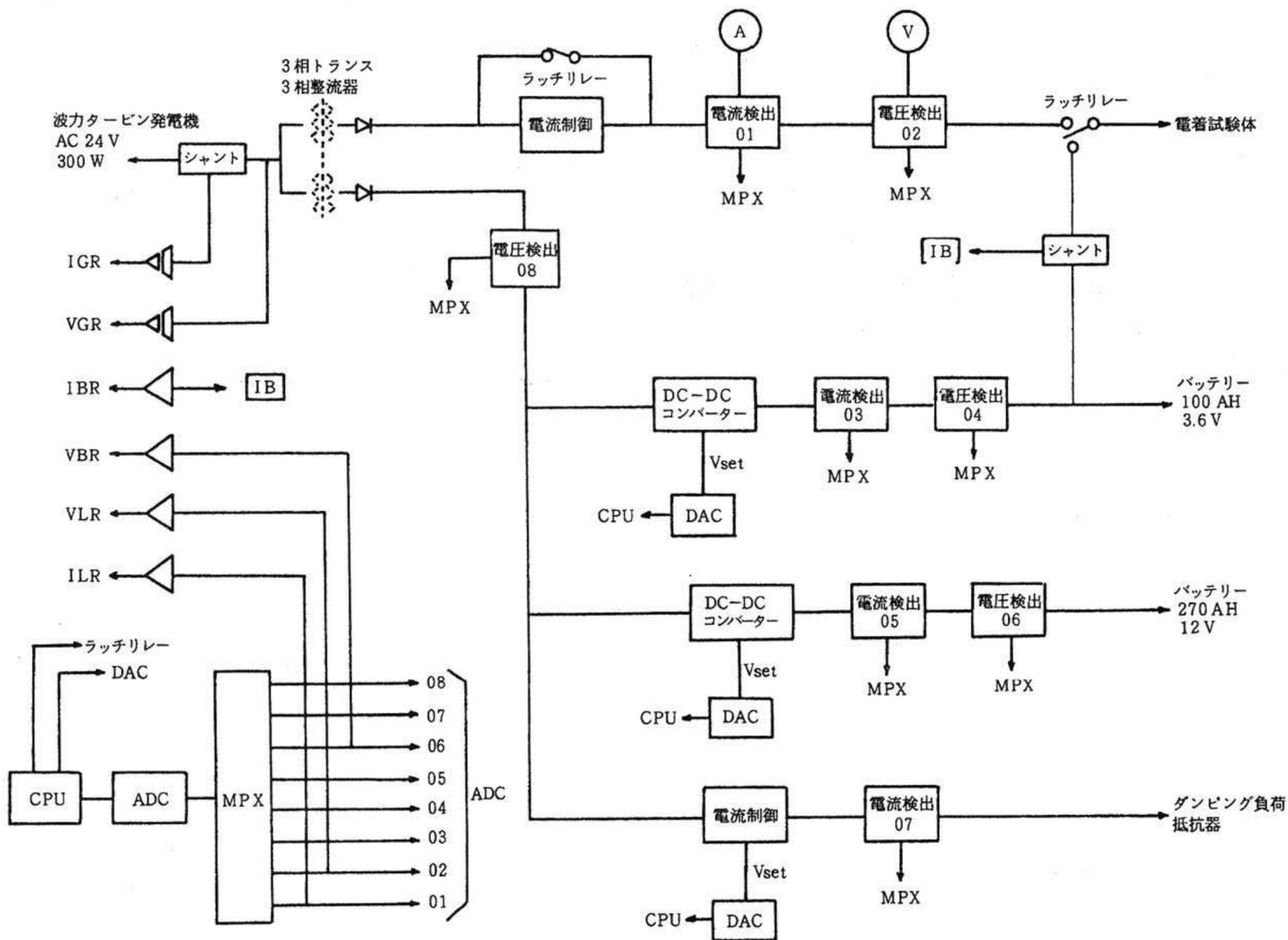


図5 電着通電制御装置ブロック図

Fig.5 Block diagram of electric current control

出力が発生し、0.1A 以上の電流が流れるとモード3に復帰する。

(5) 計測システム

(a) 全体系統図

図6に全体系統図を示す。計測はデータレコーダーを用いて4時間毎に10分間行うとともに、テレメーターにより陸上へ転送されり

アルタイムでモニターした。

(b) 計測項目

表1に計測項目を示す。

なお相対波高、及び空気圧力の測定には以下のセンサーを使用した。

(波高計)

形式 : 容量式波高計 (電子工業(株)製)

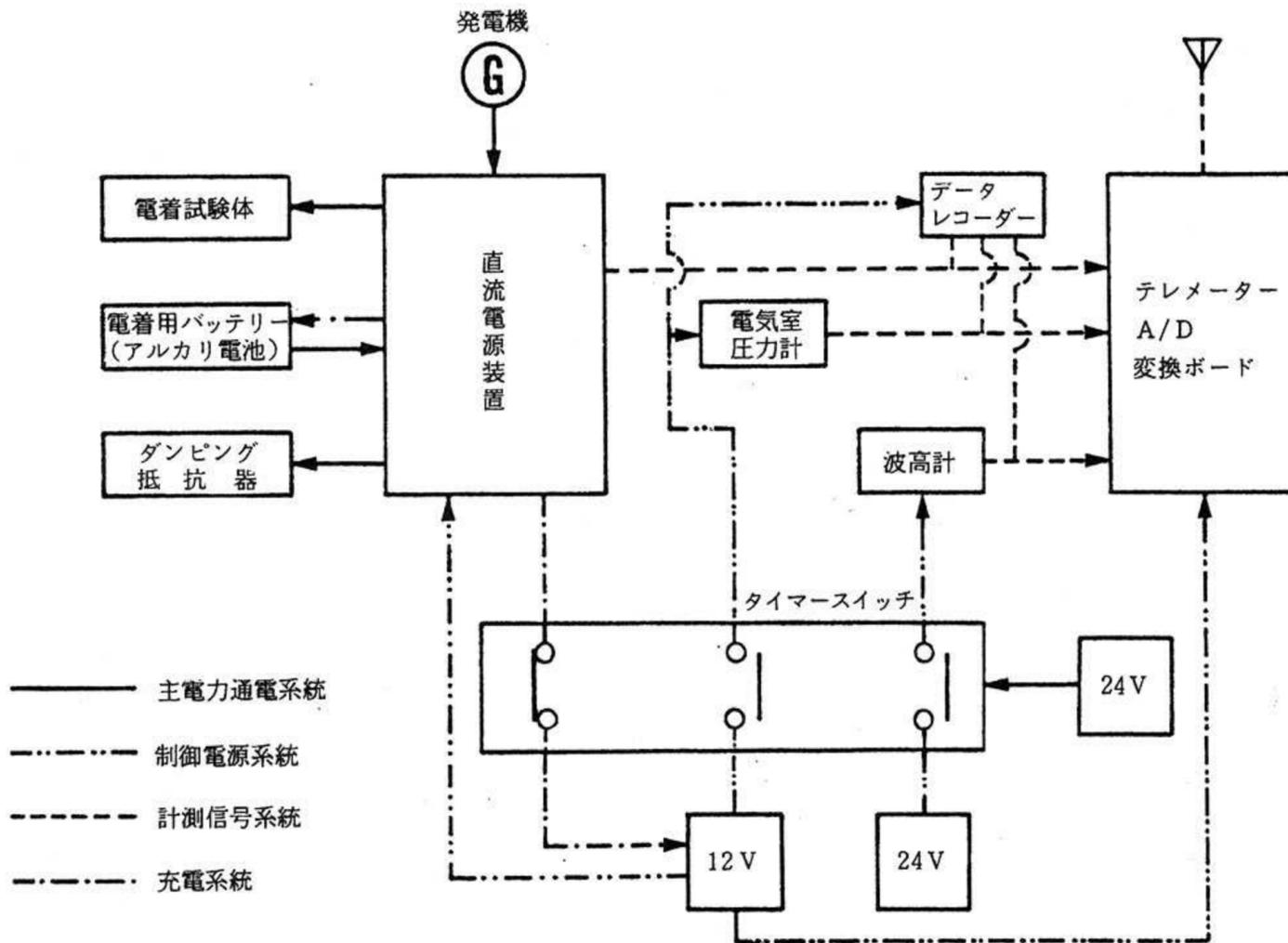


図6 全体系統図

Fig.6 Total system for electrodeposition

表1 計測項目

Table.1 Measurement items

計測項目	計器	計測方法
(1)波高	容量式波高計	4時間毎に10分間計測し、データレコーダーに記録する。
(2)空気室圧力	動歪式圧力計	
(3)発電機出力電圧 (4)発電機出力電流 (5)直流電源装置出力電圧 (6)直流電源装置出力電流 (7)電着用蓄電池出力電流 (8)計測制御用蓄電池出力電圧	直流電源装置からの 端末出力信号による	同時にテレメーターシステムにより陸上へ転送しリアルタイムでモニターする。

#### センサーワイヤー

全長 : 10.35 m

芯線 : 1.1 mm ステンレスワイヤー

外径 : 3.1 mm (ポリエチレンコーティング)

測定範囲 : 10 m

(圧力計)

形式 : PGM-1KG (共和電業製)

容量 : 1 kgf/cm<sup>2</sup>

定格出力 : 5053 x 10<sup>-6</sup>

### 3.2 電着試験体

#### (1) 形状

写真1に63年度電着試験体を示す。電着試験体は62年度と同様基盤面積を20,000cm<sup>2</sup>とし、直径6mmの鋼線を用いて、長さ1,750mm、巾1,000mm、高さ800mmのカゴ状の立体形状とした。

#### (2) 基盤構造

電着物の形成に有効な基盤構造を調査するため次の3種類の基盤について実験を行った。

##### (a) 鋼線基盤

鋼線 (6 mm)

##### (b) 鋼線・スチールウール基盤

鋼線にスチールウール (日本スチールウール製) を巻き付ける。

##### (c) 鋼線・グラスウール基盤

鋼線に布状グラスウール (厚さ0.3~0.4 mm) を巻き付ける。

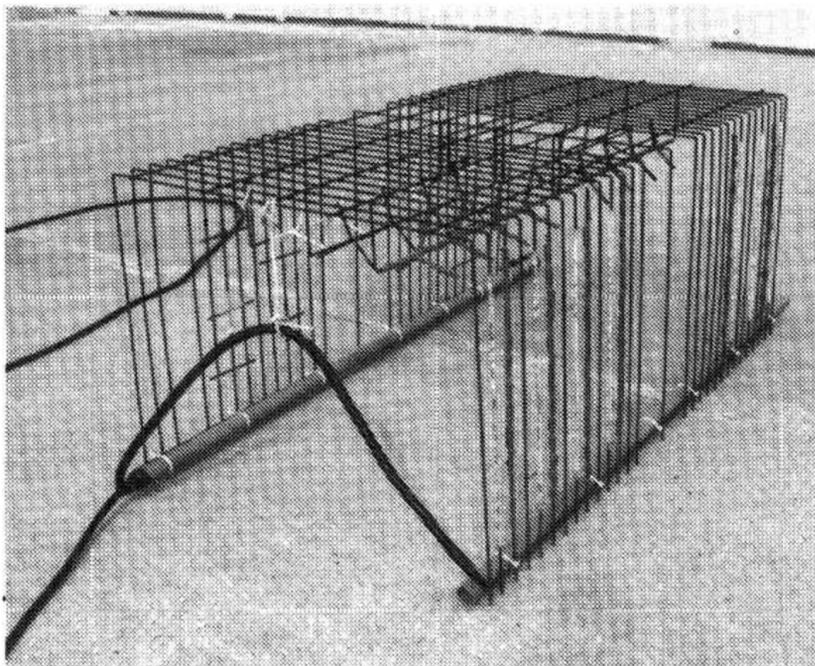


写真1 電着試験体

Photo.1 Electrodeposit test piece

### 3.3 上限電流設定

一般に通電初期は鋼線の金属表面が直接海水に接触するため電気化学反応が活発となる。そのため気泡 (水素ガス) が多く発生し、それらが電着物に包含される結果、電着物が脆弱となり易い。このため通電初期により堅固な電着物を付着させるため、上限電流を4A (0.2mA/cm<sup>2</sup>) と比較的 low に設定した。また初期電着形成後は比較的硬質の電着物をより多く形成するため上限電流を8A (0.4AmAcm<sup>2</sup>) に設定した。

## 4. 実験結果

### 4.1 波高及び出力

#### (1) 波高及び出力の推移

電着通電期間中の波高及び発電出力の推移を把握するため、沖合い (距岸約2.7km、水深約40m) に設置したウェーブライダーの波高 (1/3有義値) と発電機出力を求め、これらの推移を図7に示した。これより発電出力は波高に良く対応していることがわかる。一方波高は12月が最も高い状態にあり、1月以降低い状態で推移している。図8に各月の波高分布を示す。12月では1~3mの波高期間が全体の80%を占めているのに対し、1~3月では0~2mの波高期間が80%を占め、その内の約1/2は0~1mの波高である。さらに4月では0~1mの波高が全体の約70%となっている。図9に各月の平均波高と積算発電出力の関係を示す。これより2,3,4月は1ヶ月当りの出力が1,000~1,100Wと、11~1月に比べ1/2以下の値であることがわかる。

#### (2) 波高と出力の関係

図10に沖合波高と発電出力との関係を示す。これらの値は異なる周期のものを含むが両者は良い相関を有していることがわかる。この沖合波高と発電出力の相関性を明らかにするため空気入射波高、空気室圧力等の関係を含め調査した。図11は沖合波高と空気室入射波高との関係である。これより、入射波高は沖合波高が約0.5m以上で発生し、両者は直線関係にあることがわかる。さらに空気室入射波高と空気室圧力との関係を図12に示す。これより両者は比例関係にあり、このグラフより空気室堤体の比圧力 (空気室圧力/入射波高) は約0.7であることがわかる。また空気室圧

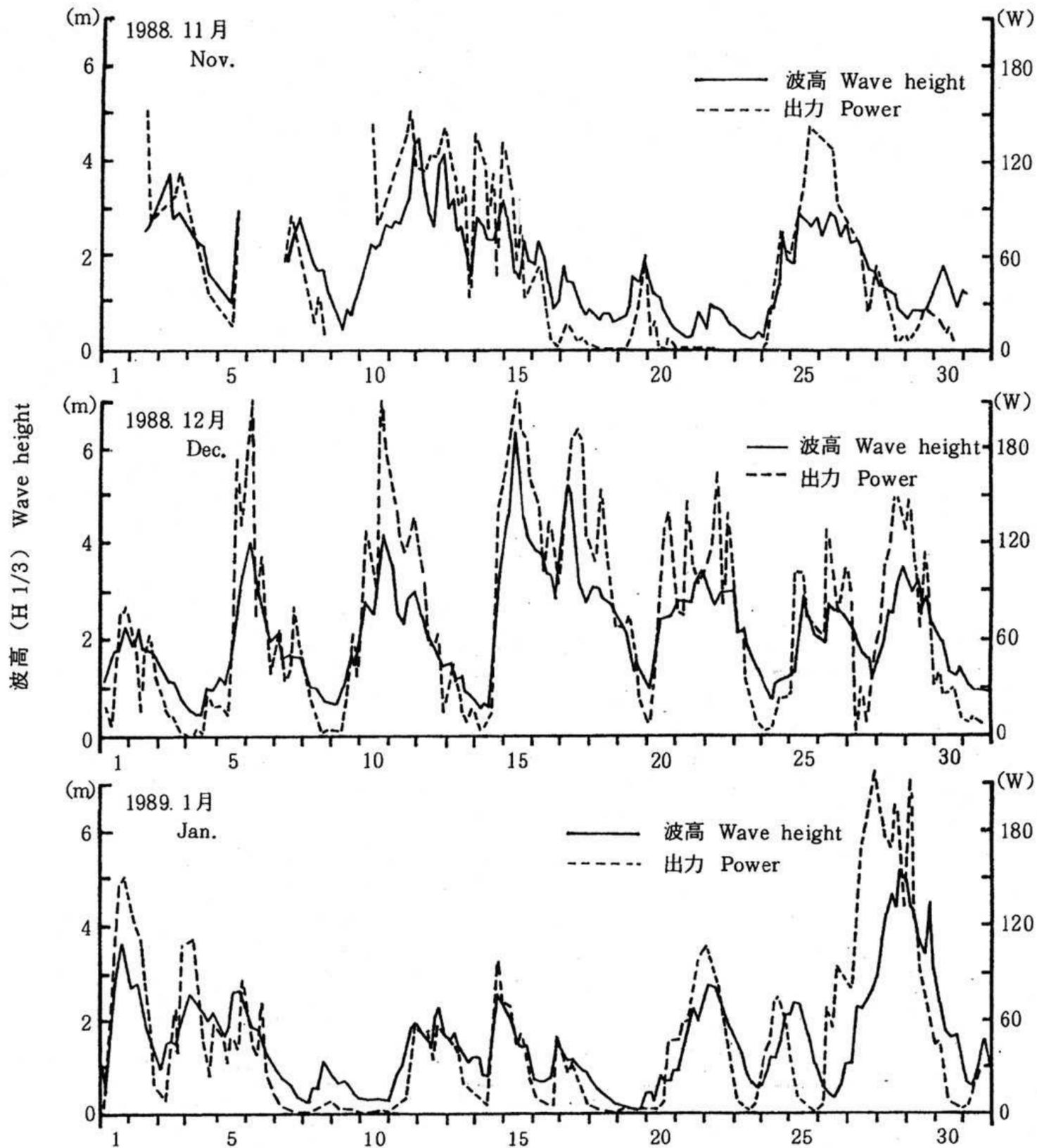


図 7 (a) 波高, 出力の推移 (1988, 11月~1989, 1月)

Fig.7 (a) Wave height and generating power (1988, Nov.~1989, Jan.)

力と発電出力の関係を求めると図13に示すごとく、発電出力は空気室圧力と強い相関が認められる。これらの調査結果より、波高、空気室圧力及び発電機出力との関係が明らかとなり、今後の波力発電装置の設計に有効な知見を得ることができた。

#### 4.2 発電出力と電着電流

##### (1) 電着電流と発電出力との対応性

図14に通電開始後の平均電着電流と発電出力の

推移を示す。

図14より、11月及び12月においては出力と電流は比較的よく対応している。しかし12月3日~12月9日、1月5日~2月18日、及び3月4日~3月21日の間は出力の増大にかかわらず電流が1.5 A以下の低い値を示している。この原因を調査したところ、陽極側ケーブルの接続不良によるものであることがわかった。

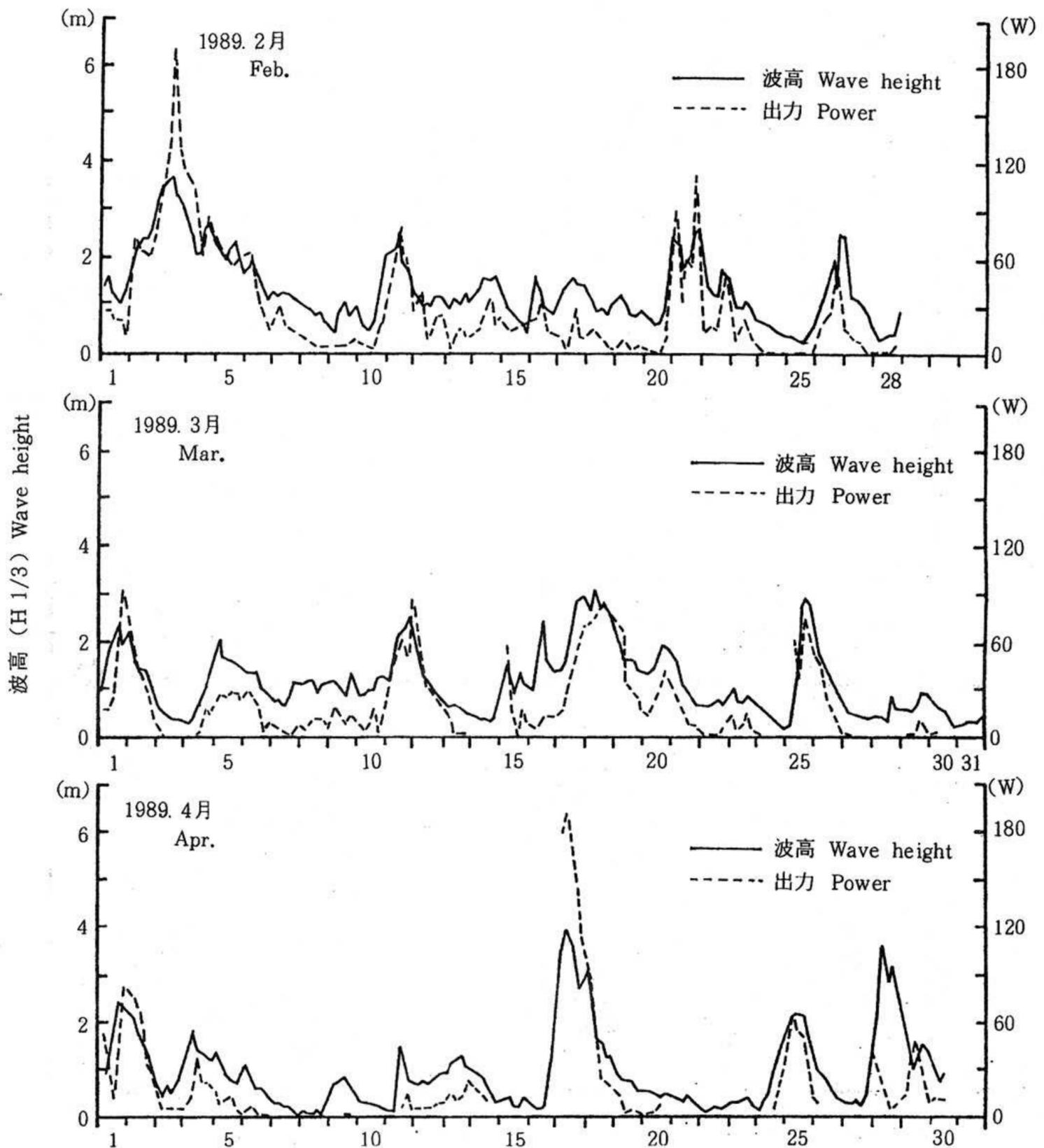


図 7 (b) 波高, 出力の推移 (1989, 2月~4月)

Fig.7 (b) Wave height and generating power.(1989, Feb.~ Apr.)

(2) 電着通電制御

(a) 上限電流制御

上限電流は通電開始時に 4 A (電流密度:  $0.2\text{mA}/\text{cm}^2$ ) とし, その後 2月18日に 8 A (電流密度:  $0.4\text{mA}/\text{cm}^2$ ) に設定した。この結果, 11月, 12月の正常状態では電流の上限値は 4~4.5 A に制御されている。

一方, 2月18日に上限電流を 8 A に設定したが, 2月~4月にかけて全体的に出力が低く, 低電流状態が続いたため, 8 A の上限電

流制御が見られたのは 4月16日~4月18日の間のみであった。図15, 16は 4 A 及び 8 A の上限設定電流における電着電流, 電圧及び発電機電流, 電圧の波形例を示したものである。これらの観測結果より発電機出力の電圧, 電流及び電着電圧, 電流は基本的に同様の傾向を示すが, 上限電流制御のため, 発電機の出力電圧, 電流がある値より大きくなると電着電圧および電流は一定の値以下に制御されていることがわかる。

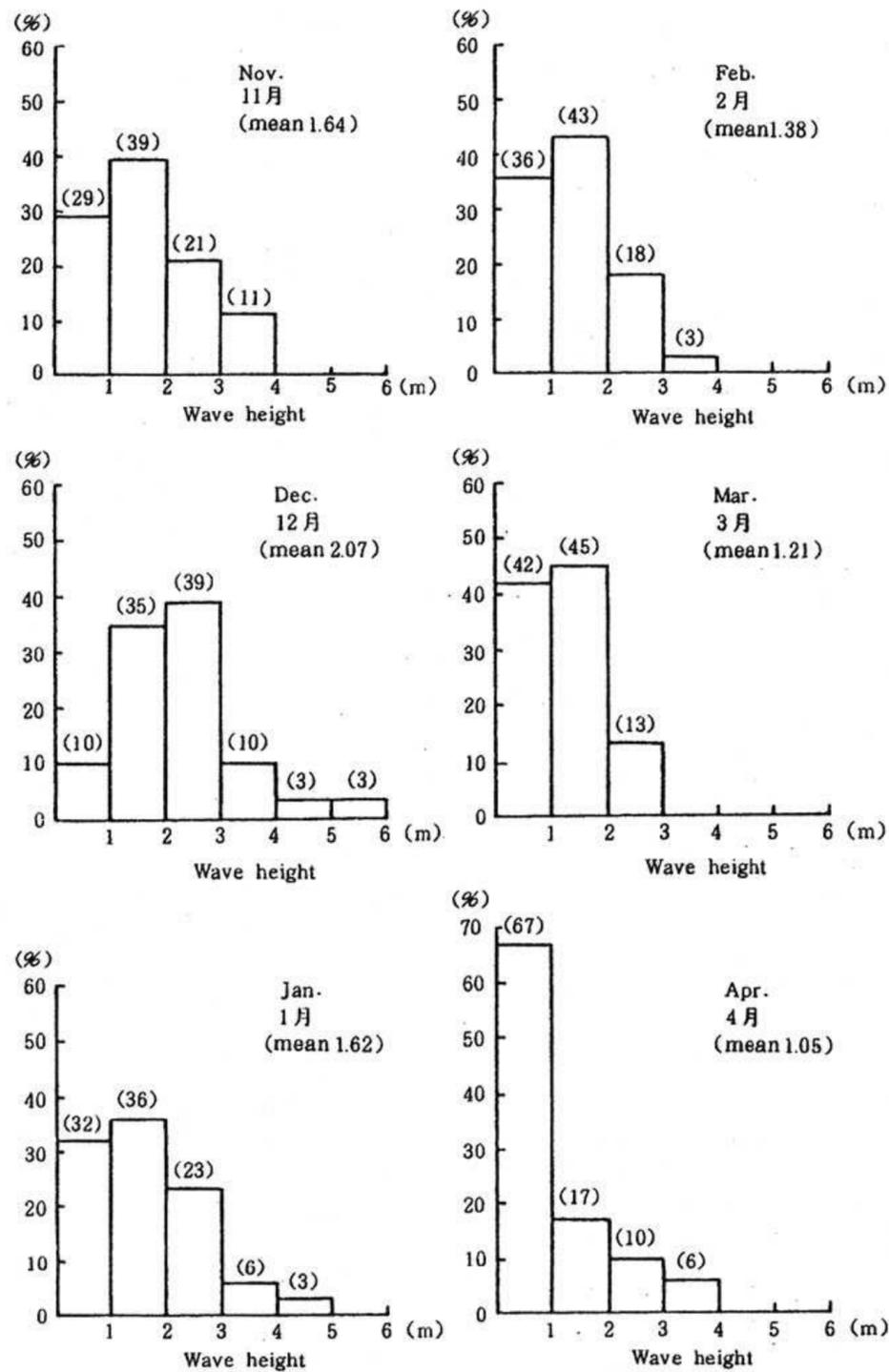


図 8 月別波高分布 (1988, 11月~1989, 4月)  
 Fig.8 Distribution of wave height (1988, Nov.~1989, Apr.)

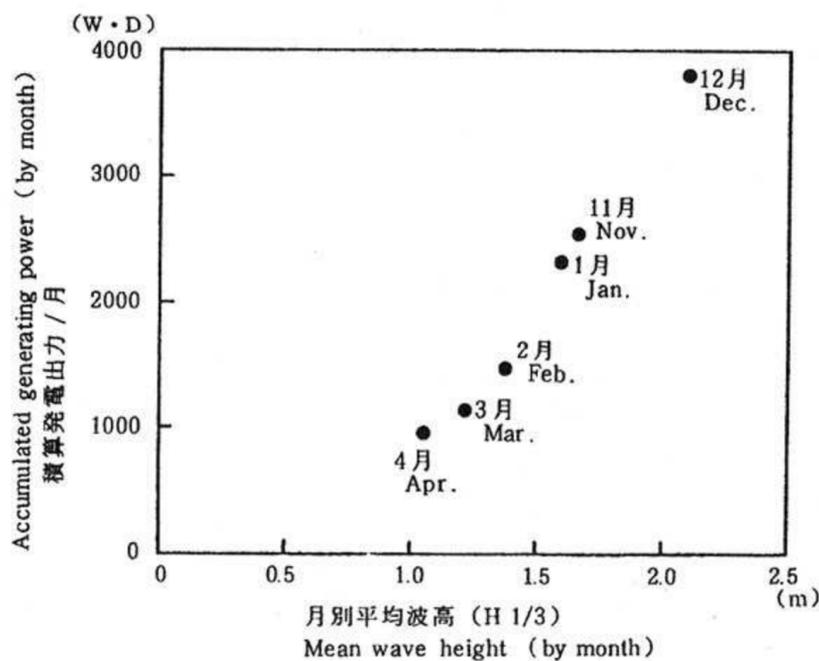


図 9 月別平均波高と積算出力  
 Fig.9 Mean wave height and accumulated power

図17は各瞬間の電着電圧と電流の関係を示したものであるが、本図より電着電圧と電流の関係は一定の直線関係で示されることがわかる。また電流が0の場合でも出力電圧は約2Vを維持しているが、これは海水中での陽極材と陰極材の電位の違いにより異なり電位差が生じるためである。

(b) 電着用バッテリーによる電着通電

図14において11月23日、2月25日、及び3月3日には電着用バッテリーからの電着通電が観測されている。図18には2月25日におけるバッテリーからの電着通電の状況を発電機の出力量、並びに電着電流とともに示している。本制御装置では発電出力が低下し、電

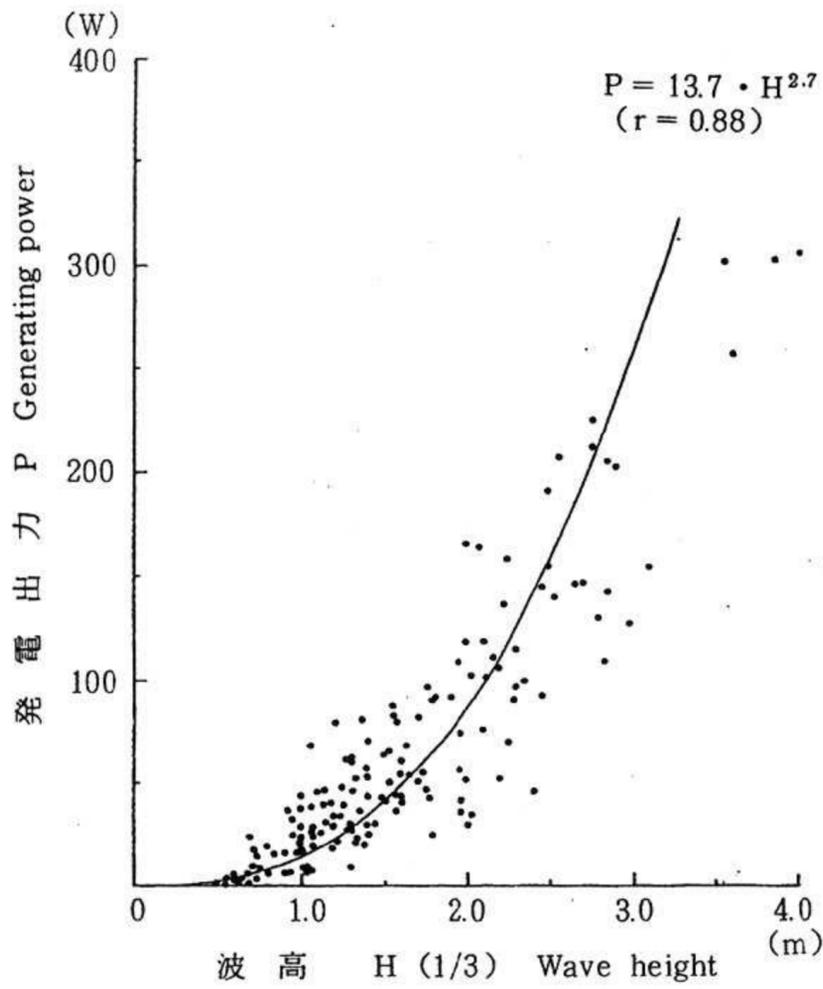


図 10 沖合い波高と発電出力  
Fig.10 Relation between wave height in the offing and generating power

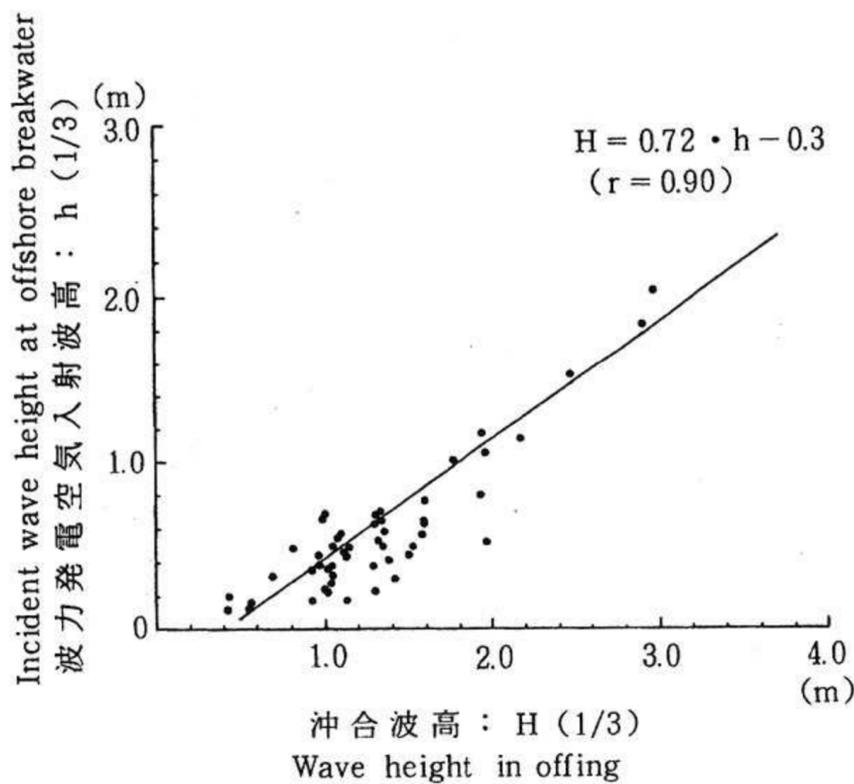


図 11 沖合い波高と入射波高の比較  
Fig.11 Relation between wave height in the offing and incident wave height

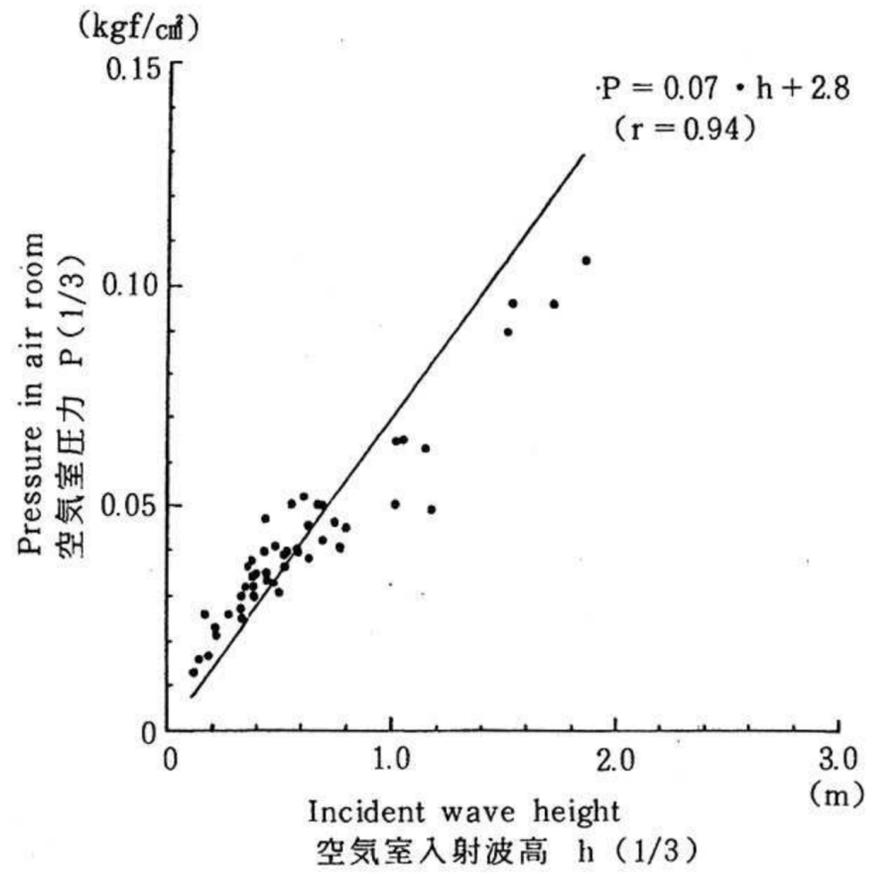


図 12 空気室入射波高と空気室圧力  
Fig.12 Pressure in air room and incident wave height

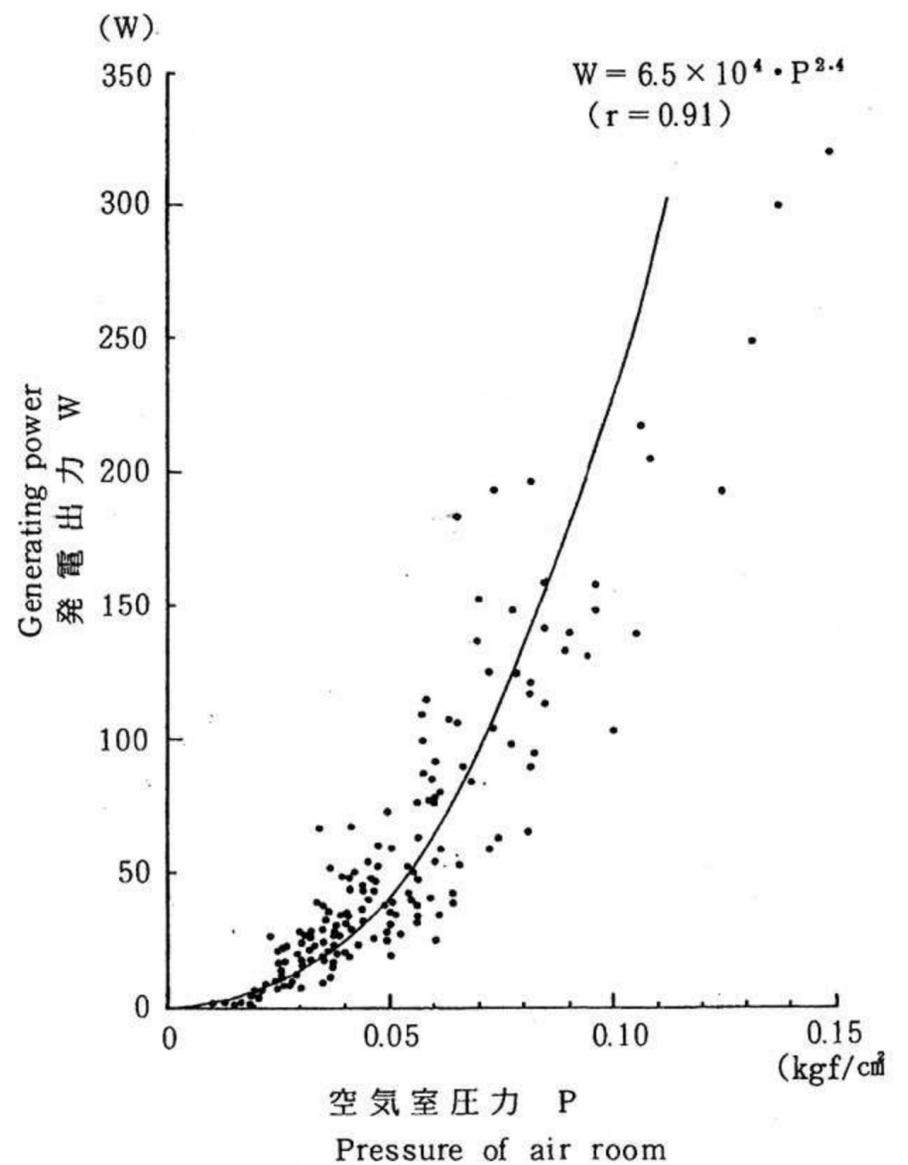


図 13 空気室圧と発電出力  
Fig.13 Pressure of air room and generating power

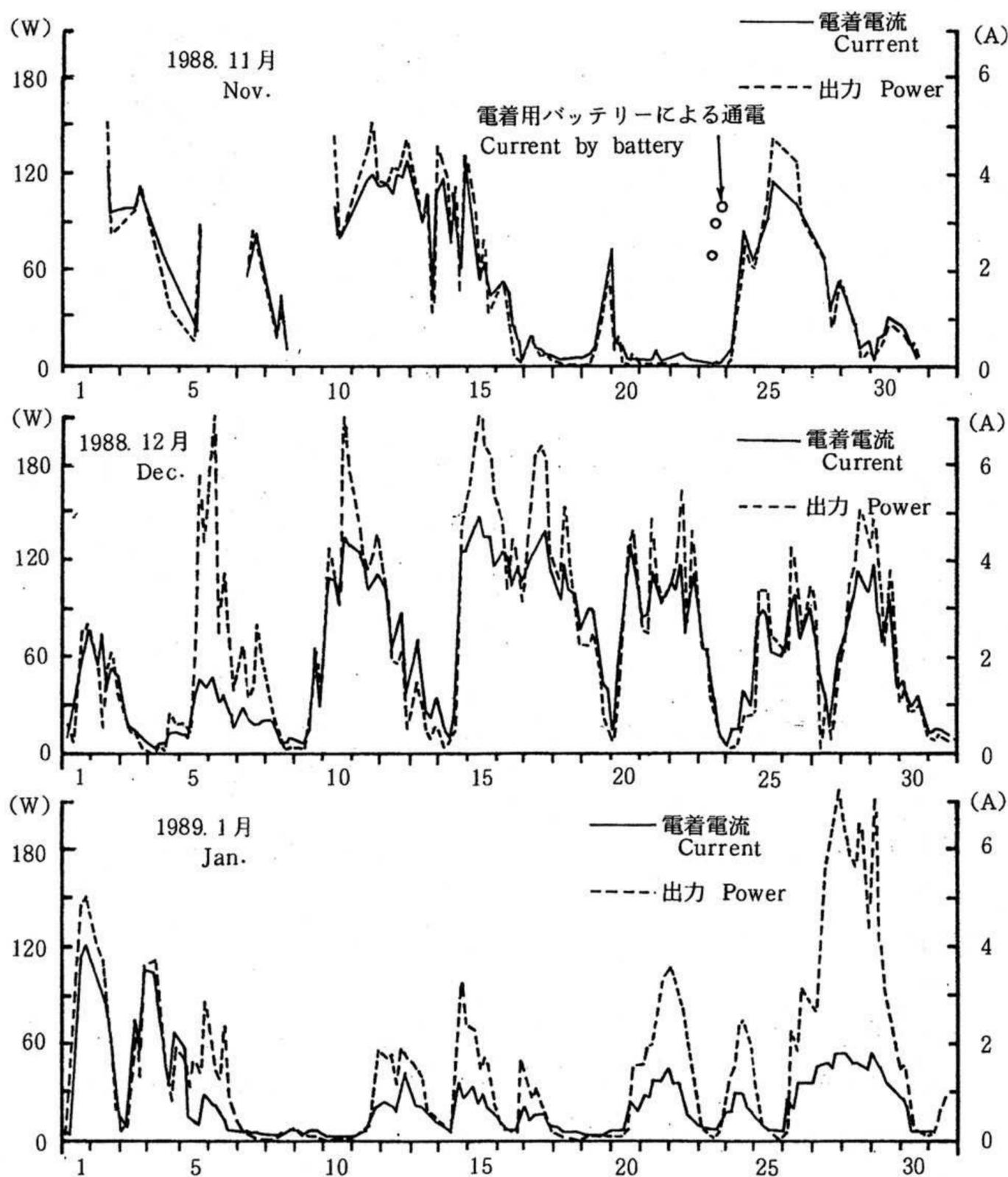


図 14(a) 電着電流, 出力の推移 (1988, 11月~1989, 1月)  
 Fig.14(a) Electrodeposition current and generating power  
 (1988, Nov.~1989, Jan.)

着電流が0.1 A以下で1時間継続した場合には電着用バッテリーから電着試験体へ通電が行われる。また一旦、0.1Aを超える発電出力が発生した場合には発電機から電着試験体へ通電するよう設計されている。図18において4時10分以前、及び12時以降、発電機電圧、電着電流とも0を示している。この間バッテリーによる電着通電が4時8分頃開始し、一旦停止した後、12時以前に再び開始したことがわかる。

一方、今回使用した電着用バッテリーの容量は200 AHであり、3 Aで電着通電した場合約70時間で容量不足の状態となる。今回の実験では3月3日までに合計約3日の放電が行われたことになる。他方、バッテリーの充電の面から、電着電流が上限設定電流を越えた場合その余剰電力により充電されることになっているが2月以降、海象がおだやかとなり波高が低くなった結果、余剰電力の発生がほとんどなくバッテリーへの充電が行われ

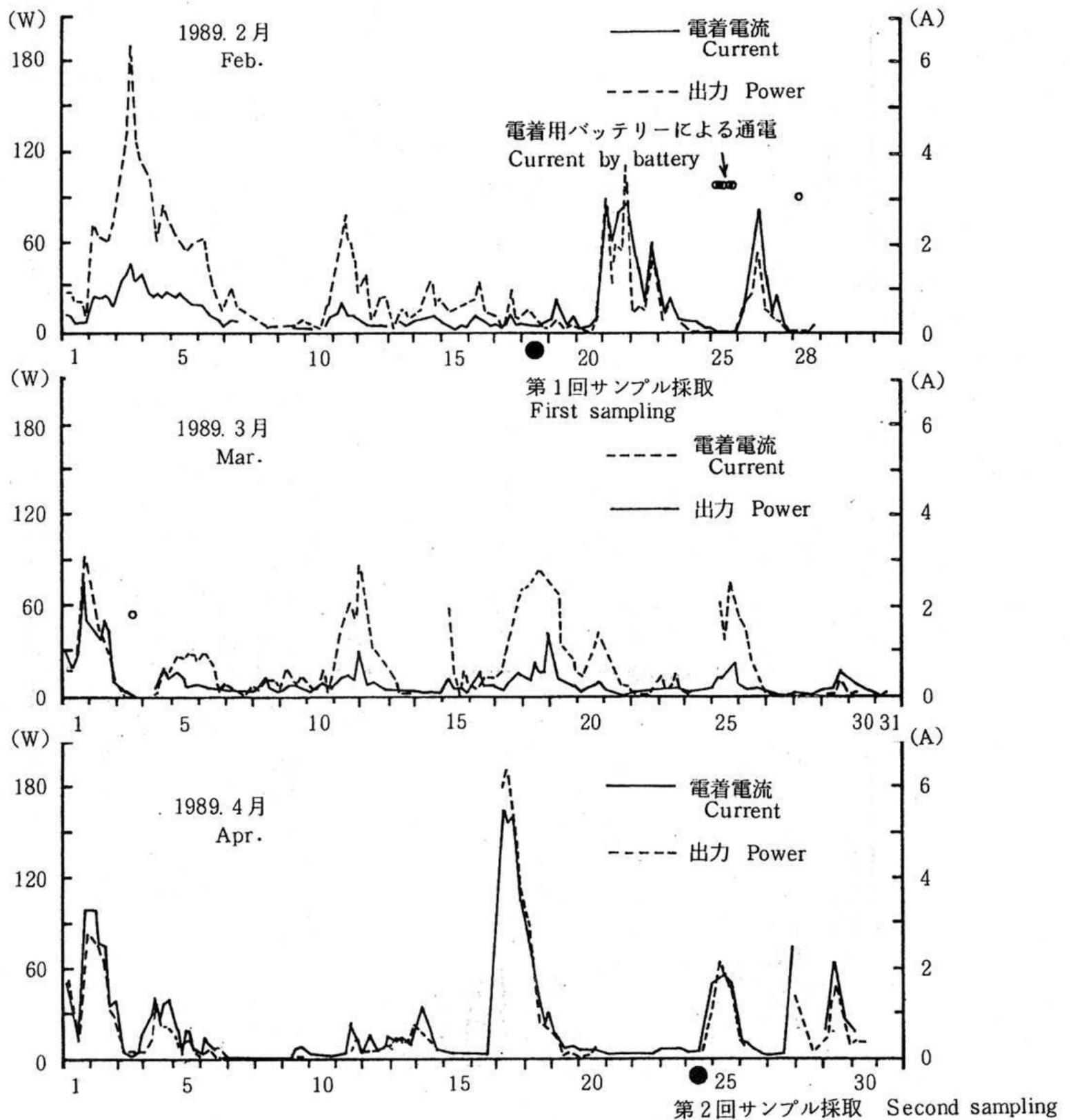


図 14(b) 電着電流, 出力の推移 (1989, 2月~4月)  
 Fig.14(b) Electrodeposition current and generating power  
 (1989, Feb.~Apr.)

るにはいたっていない。このため3月3日以降、バッテリーからの電着通電は見られない。しかし上記調査結果より一般的に高波高が期待される秋~春において、余剰電力を一旦バッテリーに蓄え、低出力時にバッテリー放電を利用して電着通電することにより発電出力を効率的に使用することが可能であることがわかった。

(3) 積算電流量

電着物の強度及び電着形成量は平均電流密度及

び積算電流量と密接な関係がある。このため通電開始(1988年10月25日)以降、4月末までの積算電流量並びに発電出力を求め図19に示した。この結果、電流は基本的に出力の増加に対応して増大し、その割合は12月末までが約60A/月と高く、1月~4月は10~20A/月と低い値となっている。これより電着物が12月末までは比較的高い割合で形成されたのに対し、1月以降電着物の付着率が低下したことを示す。

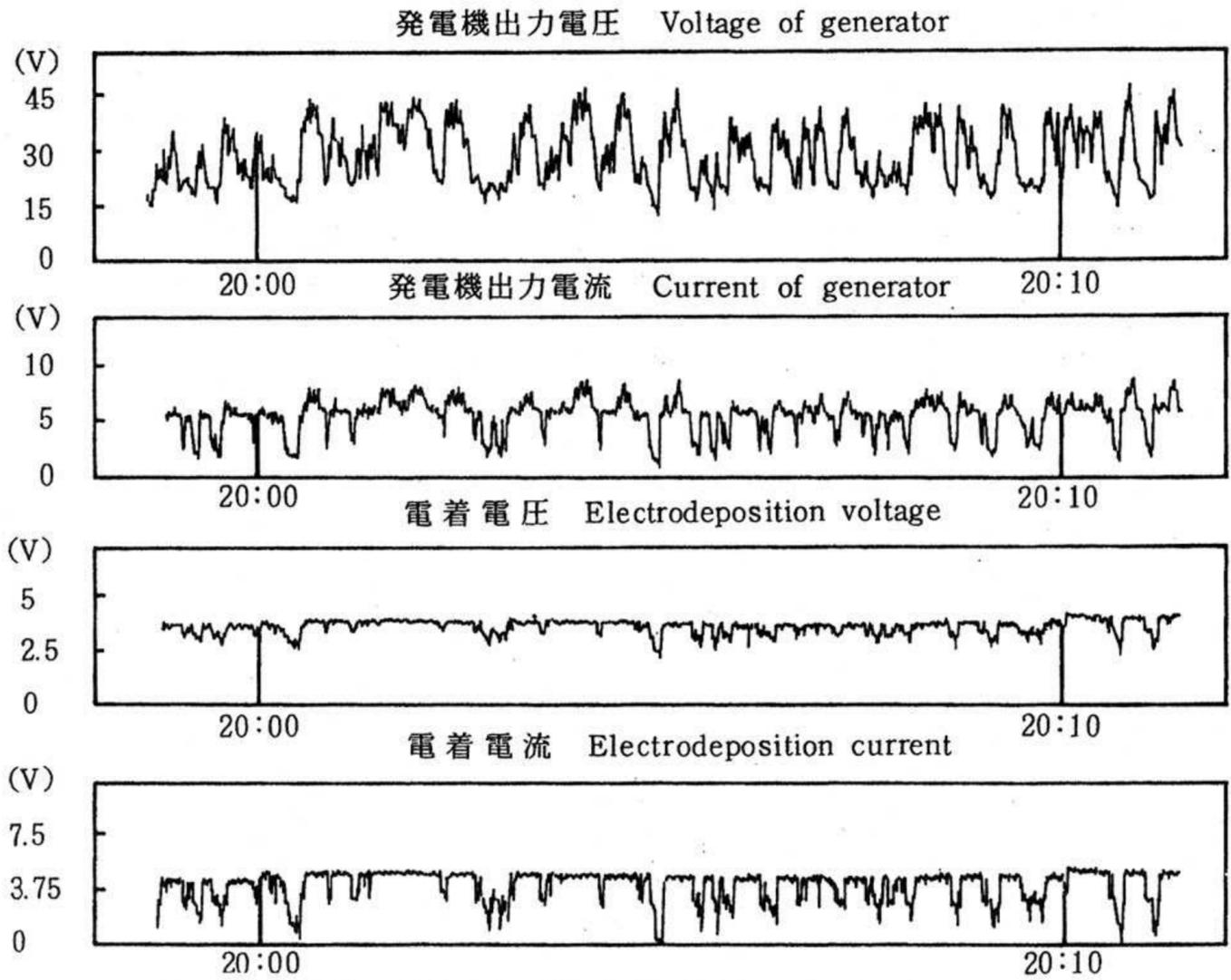


図 15 電圧, 電流波形 (上限電流設定: 4 A) (1988, 12/14)  
 Fig.15 Voltage and current wave pattern of generator and electrodeposition (Upper limit current: 4 A)

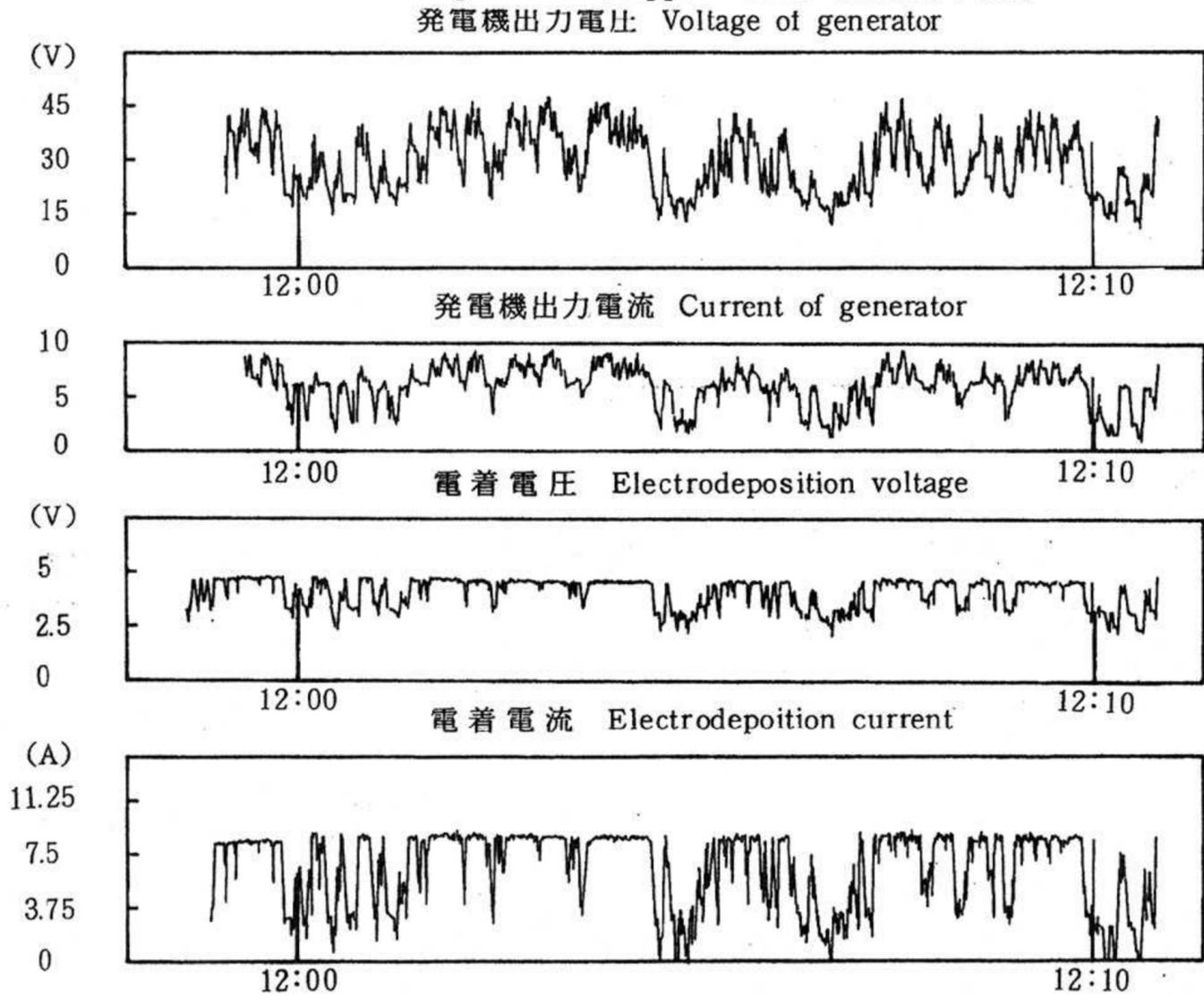


図 16 電圧, 電流波形 (上限電流設定: 8 A) (1989, 4/17)  
 Fig.16 Voltage and current wave pattern of generator and electrodeposition (Upper limit current: 8 A)

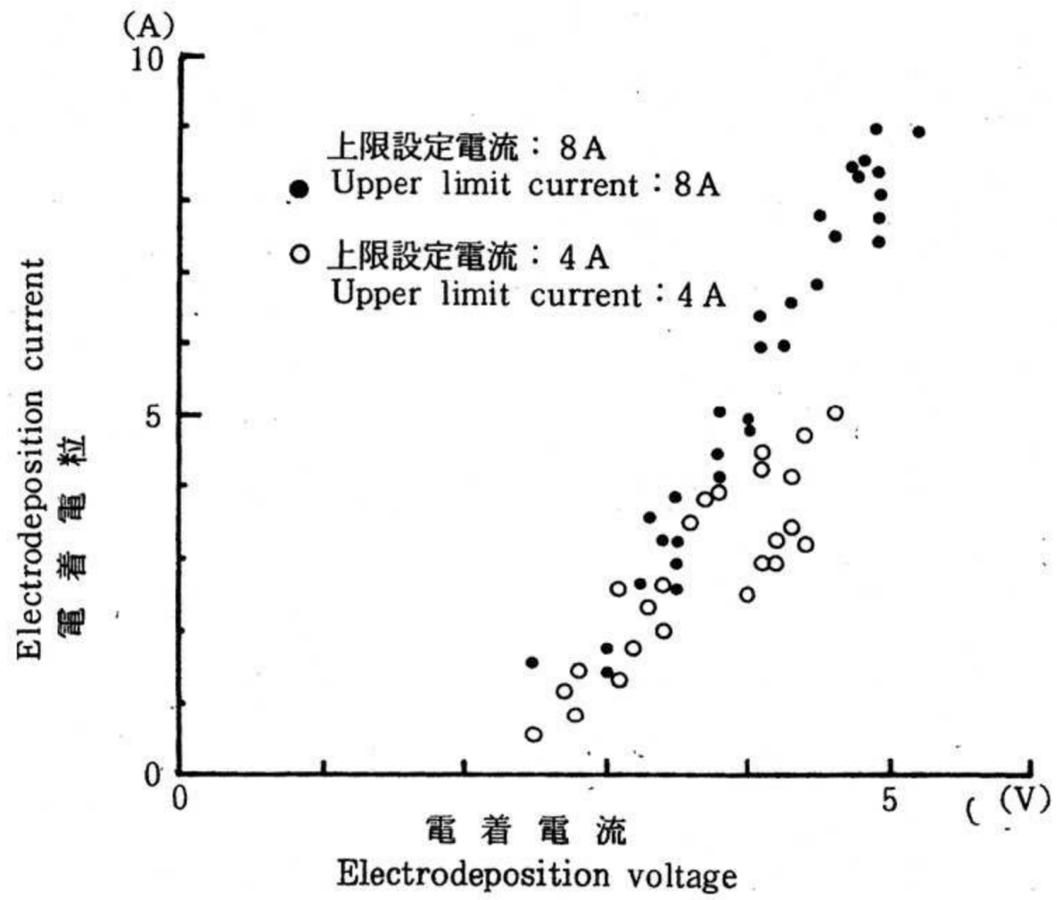


図 17 電着電流と電着電圧の関係

Fig.17 Electrodeposition current and voltage

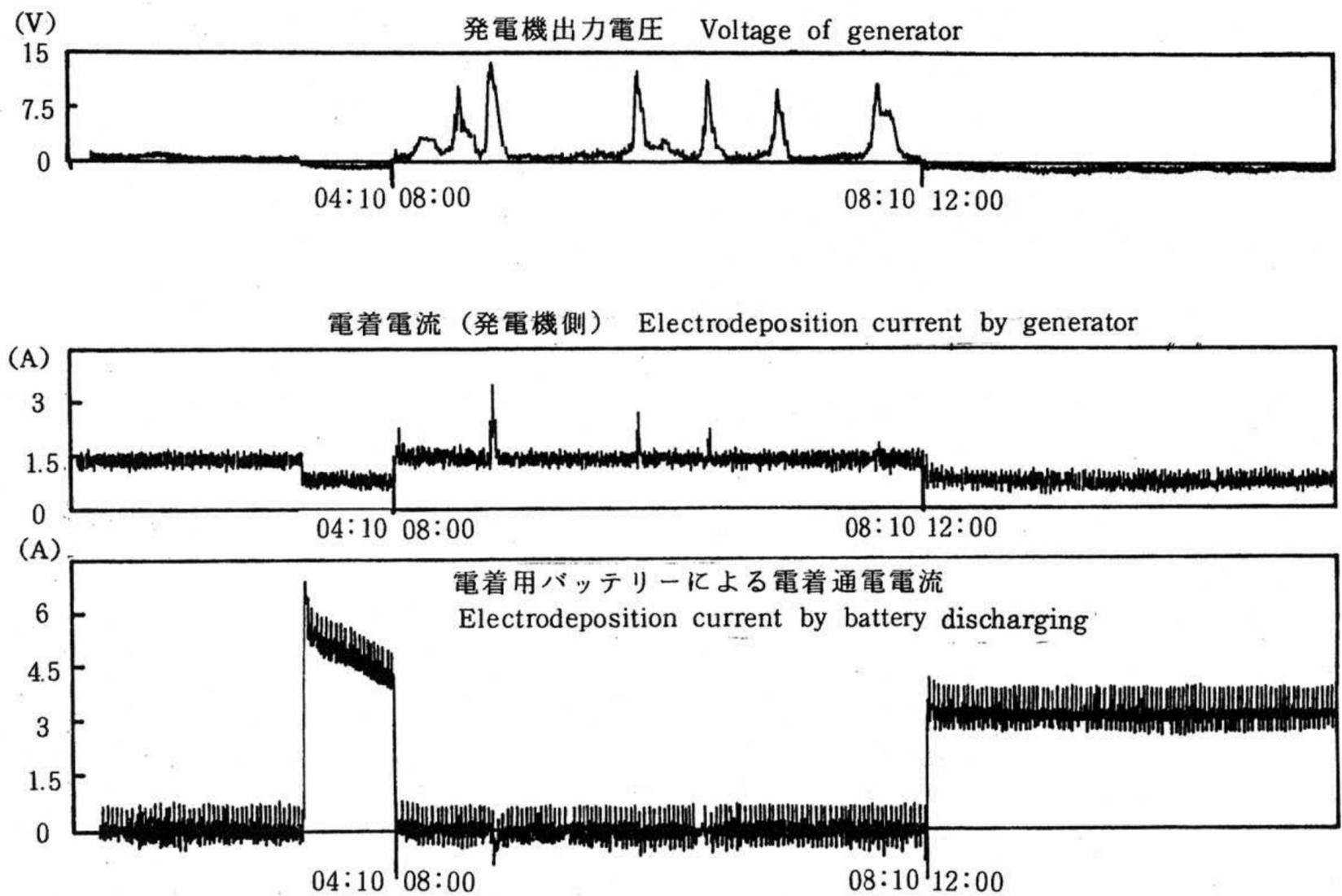


図 18 電着用バッテリーによる電着通電 (1989, 2/25)

Fig.18 Electrodeposition current control by battery discharging (1989, Feb. 25)

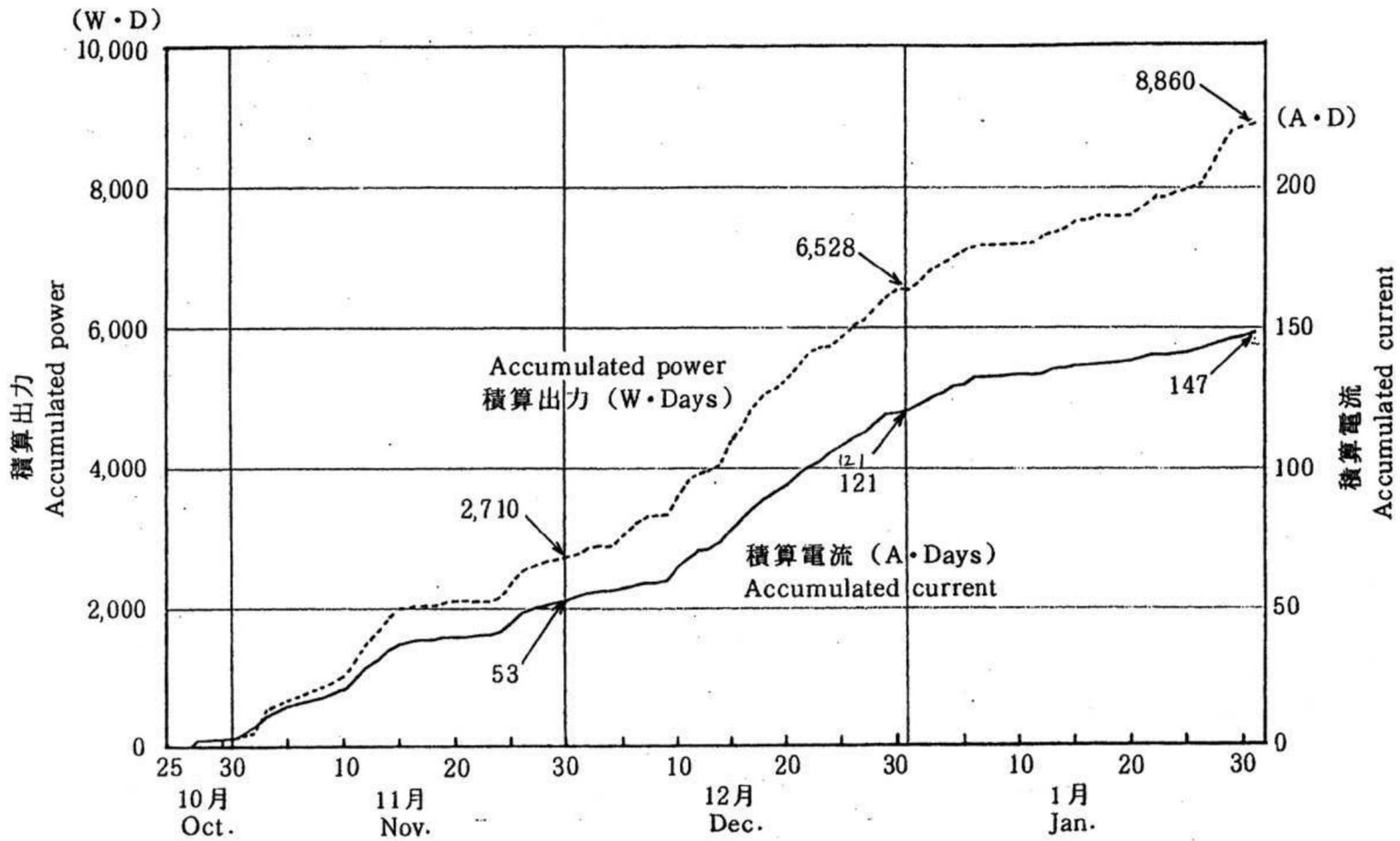


図 19(a) 積算出力及び積算電着電流 (1988, 10/25~1989, 1/31)

Fig.19(a) Accumulated power and accumulated electrodeposition current (1988, Oct. 25~1989, Jan.31)

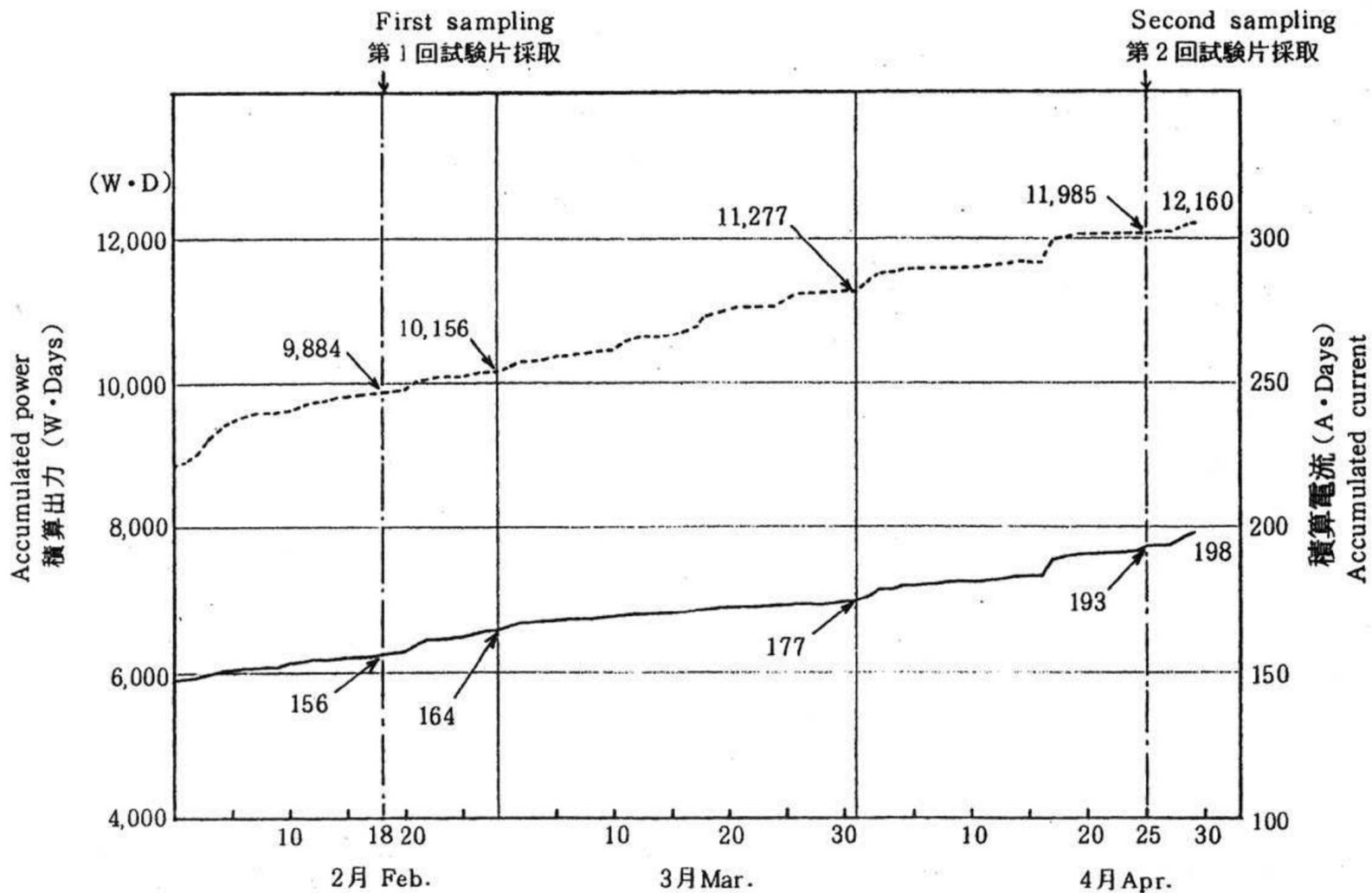


図 19(b) 積算出力及び積算電着電流 (1989, 2/19~4/30)

Fig.19(b) Accumulated power and accumulated electrodeposition current (1989, Feb. 19~Apr. 30)

### 4.3 電着形成

鋼線、鋼線・スチールウール、及び鋼線・グラスウールの3種類の基盤構造について電着通電制御システムと電着形成との関係を調べるため、平成元年2月18日（第1回採取：116日経過後）及び4月25日（第2回採取：182日経過後）に電着試験片を採取し、調査を行った。

#### (1) 外観調査

試験片の外観を写真2に示す。電着物の表面の

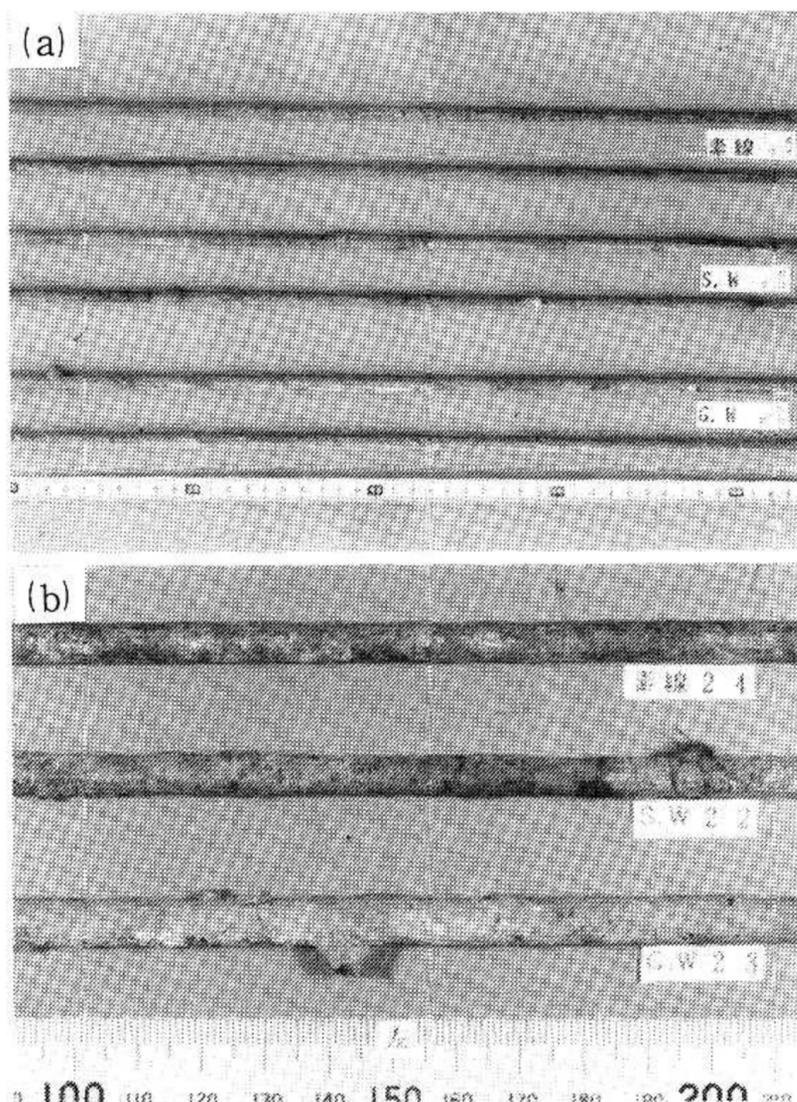


写真2 電着試験片（2月18日採取）

Photo.2 Electrodeposit specimen (Feb. 18)

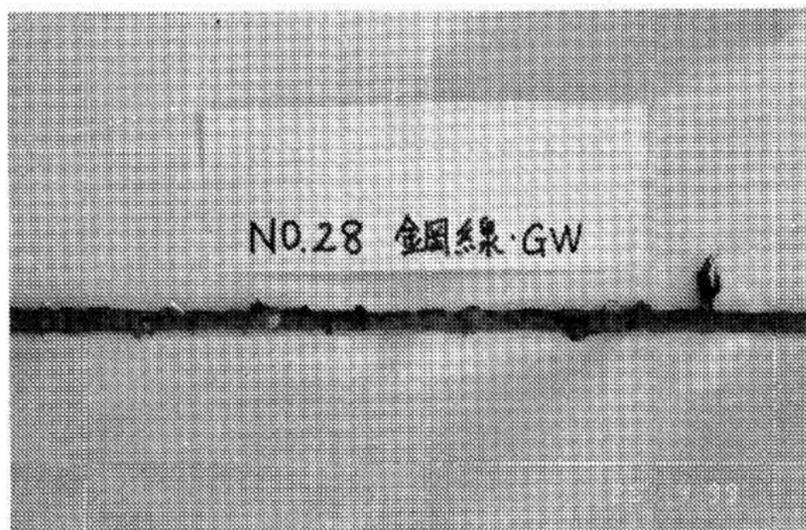


写真3 電着試験片（4月25日採取）

Photo.3 Electrodeposit specimen (Apr. 25)

色は鋼線が最も茶色がかっており、鋼線・スチールウール、鋼線・グラスウールの順に白色が強くなっている。このことは新しい電着物が鋼線・グラスウール材に最も多く付着したことを示すものである。また電着物はいずれも前年度のものに比べ硬く付着している。

4月25日に採取した試験片では表面に珪藻類が付着し、50mm程度のアオサが多く着性し、また5mm程度のフジツボが多数付着していることが確認された（写真3）。

#### (2) 電着厚さ

##### (a) 鋼線試験片

第1回採取試験片は電着物の厚さが全体的に薄く、コーティングされていないところが点在している。第2回目では試験片全体が電着物でほぼ均一にコーティングされている。

##### (b) 鋼線・スチールウール試験片

第1回採取試験片では表面に巻き付けたスチールウールのほとんどが消失し、電着物はほとんど裸線表面に析出している。しかし電着物の厚さは、鋼線の試験片に比べて厚く、しかも鋼線試験片に見られたような電着物の付着のバラツキは少ない。この理由としてスチールウールの有する保水効果により基盤表面の海水の移動が妨げられ、より安定した電場が形成される結果、電着物がより多く析出することが考えられる。

したがってスチールウールが付着している間、鋼線に比べ電着厚さが増加したものと考えられる。なおスチールウールの消失は、電流が鋼線側を主体に流れるため、低電流条件のもとでは、スチールウールが腐食し徐々に流出したためである。

##### (c) 鋼線・グラスウール試験片

電着物はグラスウールの全面を覆うようにして付着しており、他の試験片に比べて厚く形成している。これはグラスウールを巻き付けることにより、鋼線表面の海水の移動が減少し、保水性が良くなるため基盤表面の電場が安定し、低電流条件でも電着物が形成され易くなるためと考えられる。このようにグラスウールを陰極表面に巻き付けることは、変動電流条件において、電着効率を高めるうえ

表 2 試験片電着厚さ並びに電着通電量  
Table.2 Thickness of electrodeposit and current condition

		第 1 回採取	第 2 回採取
採取月 / 日 (経過日数)		1989年2月18日 (116日)	1989年4月25日 (182日)
電着厚さ (mm)	鋼線	0.14	0.37
	鋼・スチールウール	0.21	0.38
	鋼・グラスウール	0.78	0.91
積算電流量 (A·days)		156.2	193.3
平均電流密度 (mA/cm <sup>2</sup> )		0.07	0.05
* 電着効率 (g/A·days)	鋼線	3.8	8.0
	鋼・スチールウール	5.7	8.3
	鋼・グラスウール	20.9	19.8

\* 電着基盤面積 20,000cm<sup>2</sup> 当りの値

で有効な方法であると考えられる。

### (3) 電着効率

表 2 より電着厚さは鋼線で最も少なく、鋼線・スチールウール、鋼線・グラスウールの順に大きくなっている。各試験基盤構造に対する、基盤表面積 20,000cm<sup>2</sup> 当りの電着効率  $k$  (g/A·day) を概算すると第 1 回採取の試験片 (116 日経過後) では、鋼・グラスウールの 20~21 に対し、鋼線 : 4, 鋼線・スチールウール : 6 であり、鋼線・グラスウール基盤は鋼線基盤に比べて電着効率が約 5 倍であることがわかる。

一方、第 2 回採取 (182 日経過後) においては鋼線、鋼線・スチールウールはいずれも約 2 倍に増大している。このことは鋼線基盤でも、初期電

着形成後は電着による保水効果により電着効率が增大することを示している。上記調査の結果より、特に電着初期においては鋼線表面にグラスウールを巻き付けその保水効果を利用することが電着効率の向上に有効であることがわかる。

### (4) 電着物の組成

第 1 回試験片採取時における各試験片の電着物の組成分析結果を表 3 に示す。なお、表 3 には比較のため 62 年度試験片の組成分析の一例 (1988 年 2 月 25 日採取) をも併せ示している。63 年度試験片の分析結果では主成分の電着物 (CaCO<sub>3</sub> + Mg(OH)<sub>2</sub>) 以外に酸化鉄 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) も検出されている。これは通電初期の低電流状態時に表面の腐食が進み、サビが発生したためと考えられる。

表 3 電着物組成分析結果  
Table.3 Chemical composition of electrodeposition

	基盤の種類	CaCO <sub>3</sub> (%)	Mg(OH) <sub>2</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	その他 (%)	$\frac{CaCO_3}{Mg(OH)_2}$
63年度	鋼線	67.5	2.1	17.4	13.0	32.70
	鋼・スチールウール	43.3	17.7	24.1	14.9	2.44
	鋼・グラスウール	25.7	13.1	28.1	33.1	1.96
62年度	鋼線	40.7	49.7	—	—	0.82

一方、電着物中の ( $\text{CaCO}_3 / \text{Mg}(\text{OH})_2$ ) の組成比率はいずれの試験片も 2.0 以上であり、62年度の 0.8 に比べ非常に高くなっている。特に鋼線の場合には 30 を超えており、ビッカース硬度 200 程度の電着物が形成されているものと推定される。このことより波力利用電着においては上限電流を一定値以下に制御する方式が強度の高い電着物を形成する上で有効な方法であることが確認された。

## 5. まとめ

波力利用電着において強度の優れた電着物を効率よく形成するため、変動出力をコントロールし、電流を一定範囲に抑えるとともにその余剰電力をバッテリーに充電し、発電出力が低下した時にバッテリーの放電を利用して通電を行う電着通電制御システムの有効性について調査を行った。

実験は山形県鶴岡市由良漁港地先の北防波堤に設置した小型波力発電装置 (AC24V, 3相, 300W) を用いて行い、63年10月25日より電着通電を開始した。

### (1) 波高、出力及び電着電流の推移

実験期間を通じて沖合波高は 63年12月が最も高く、1月以降は低い値で推移した。そのため発電出力も同様な傾向を示した。

波力発電装置の特性を明らかにするため沖合波高と波力発電装置空気室の入射波高、空気室圧力並びに発電出力との関係について調査し、今後の波力発電装置の設計に対して有効な知見を得ることができた。

一方、電着電流は基本的に発電出力に対応して推移するが 12月3日～9日、1月5日～2月18日及び3月4日～3月29日の間は陽極側ケーブルの接続不良のため出力の増大にもかかわらず電流値は 1.5A 以下の低い値となった。

電着形成量に関係する積算電流量は全体として通電開始より 12月末までは高い割合で増加しているが 1月以降、その割合は小さくなっている。

### (2) 電着通電制御

上限電流を 4 A 及び 8 A に設定して電着通電を行った結果、電流は設定値以下に制御され、過大電流の発生は認められなかった。また発電出力が低下し、発電機による電着電流が下限設定条件以下となった場合には、電着用バッテリーの放電に

よる電着通電が観察された。このため上限設定電流を超える余剰出力を電着用バッテリーに充電し、発電出力の低下時に、バッテリー放電を利用して電着通電することは発電出力を効率的に使用するうえで有効な方法であると考えられる。

### (3) 電着形成

#### (a) 外観調査

電着物はいずれも前年度のものに比べて硬いものが得られた。また第2回採取試験片では表面に 50mm 程度のアオサが多く着生するとともに 5mm 程度の大きさのフジツボが多数付着していることが観察された。

#### (b) 電着厚さ

電着厚さは鋼線基盤、鋼線・スチールウール基盤に比べて、鋼線・グラスウール基盤が特に厚く付着している。これは基盤表面にグラスウールを巻き付けることにより、基盤表面の海水の保水性が良くなり、安定した電場が形成される結果、電着物が効率よく付着したためと考えられる。

#### (c) 電着効率

電着物の付着効率は第1回採取時では鋼線・グラスウール基盤が他の基盤の約5倍となっており、グラスウールによる保水効果が顕著に現れている。これより電着の初期にはグラスウール等を基盤表面に巻き付けることは電着効率の向上に有効であることがわかる。

#### (d) 電着物の組成

$\text{CaCO}_3 / \text{Mg}(\text{OH})_2$  の組成比率はいずれも 2.0 以上であり、62年度の 0.8 に比べ高い値を示している。この結果硬質の電着物が形成されており、本実験に用いられた通電制御システムが強度の高い電着物の形成に有効であることが確認された。

### (4) 今後の取り組み

本実験により波力発電を利用して強度の高い電着物を効率よく形成する通電制御方法を確立することができた。さらに電着物の表面には海藻類やフジツボ等が多く付着することも確認された。

今後波力を利用した電着により、水産協調型の海域制御構造物を構築する技術を確立するため実用サイズのモデルを用い実海域実証実験を実施する予定である。

#### 参考文献

- 1) 續 辰之介, 工藤君明, 安田哲也, 本多牧生,  
大西 毅: 波力利用電着技術に関する研究;  
JAMSTECTR 19, (1989)
- 2) 續 辰之介, 佐々木晴敏: 波力利用電着技術  
の研究開発, セミナー 海域制御と科学技術,  
昭和63年6月10日, 海洋科学技術センター,  
海域制御技術研究会  
(原稿受理: 1989年6月15日)