海洋科学技術センター試験研究報告　JAMSTECTR 7（1981）

波力発電〝海明〟の実験
—陸上電力系統との連系試験—

萩原良樹*1　横溝宏典*1　益田善雄*1
長谷川康明*2　大野健一*1

空気タービン方式による波力発電システムの研究として，1974年以来，国の推進する計画に沿って，小形模型実験を経て，大形実験装置の“海明”を建造して実海域実験を実施してきた。1978年には国際エネルギー機関（ＩＥＡ）の共同研究をテーマにとりあげられ，米国，英国，カナダおよびアイルランドの協力によって，その技術開発をすすめてきた。本報告は，波力発電装置“海明”における電気事業用電力系統との連系に関する研究として，第二次海域実験を行なった結果をまとめた。

Experiments on the Wave Power Generating System – "KAIMEI", Interconnection test with electric power system

Yoshiki Hagihara*3, Hiromichi Yokomizo*3,
Yoshio Masuda*3, Yasuaki Hasegawa*4, Kenichi Ohno*3

The Japan Marine Science Technology Center (JAMSTEC) began studies of a wave power generating system employing an air turbine from 1974 under the national program of the Science and Technology Agency and carried out sea experiments on the wave power generating system, "KAIMEI", after water tank tests on small models.

This study have become of major interest in the world as the first large-scale development of wave energy utilization and was adopted as an international project theme of the International Energy Agency (IEA) in April 1978. It pursued the development of wave power generating techniques with an air turbine system through international co-operation with the UK, the USA, Canada and Ireland. Results of the interconnection test with the electric power system for the utility industry carried out in the second sea experiment of the "KAIMEI" is the focus of this report.

*1 海洋利用技術部
*2 企画部
*3 Marine Exploitation Technology Department
*4 Planning and Administration Department

1. はじめに

“海明”は空気タービン，発電機，その他の機械器具を設置して電気を発生させるものである。

この発電機のうち，ダンパータンク方式の誘導発電機（２号ユニット）１台を用い，電気事業用電力系統と並列して発電した。すなわち，この実験は，“海明”上に設置した誘導発電機１台（定格出力125kW，ＡＣ 200Ｖ，３φ，50Hz，615ＲＰＭ）を大山変電所引出し，6kV水沢線に接続して送電した場合，配電系統に与える影響などを調べるためのものである。

本報の実験に際し，東北電力株式会社および関係各位のご助言，ご指導に対して深く感謝の意を表するものである。

2. 実験の概要

“海明”に装備した波力発電機のうち，定格出力125kW誘導発電機1台を用い，発電した電力を東北電力株式会社の6kV配電系統に接続送電し，配電系統への影響などを明らかにし，その実用化に資することを目的とする。

2.2 期　間

2.2.1　総合試験

昭和54年12月25日

2.2.2　長期運転試験

(1)　第１回

昭和55年1月14日～昭和55年１月31日

(2)　第２回

昭和55年３月14日～昭和55年３月31日

(3)　第３回

昭和55年４月６日～昭和55年４月15日

2.3 場　所

2.3.1　陸上監視所

山形県鶴岡市由良字由良沢の“海明”由良実験本部

2.3.2　陸上設備

山形県鶴岡市由良　白山島

2.3.2　波力発電装置“海明”

山形県鶴岡市由良漁港防波堤赤燈台から328度，3,155ｍ付近の由良沖

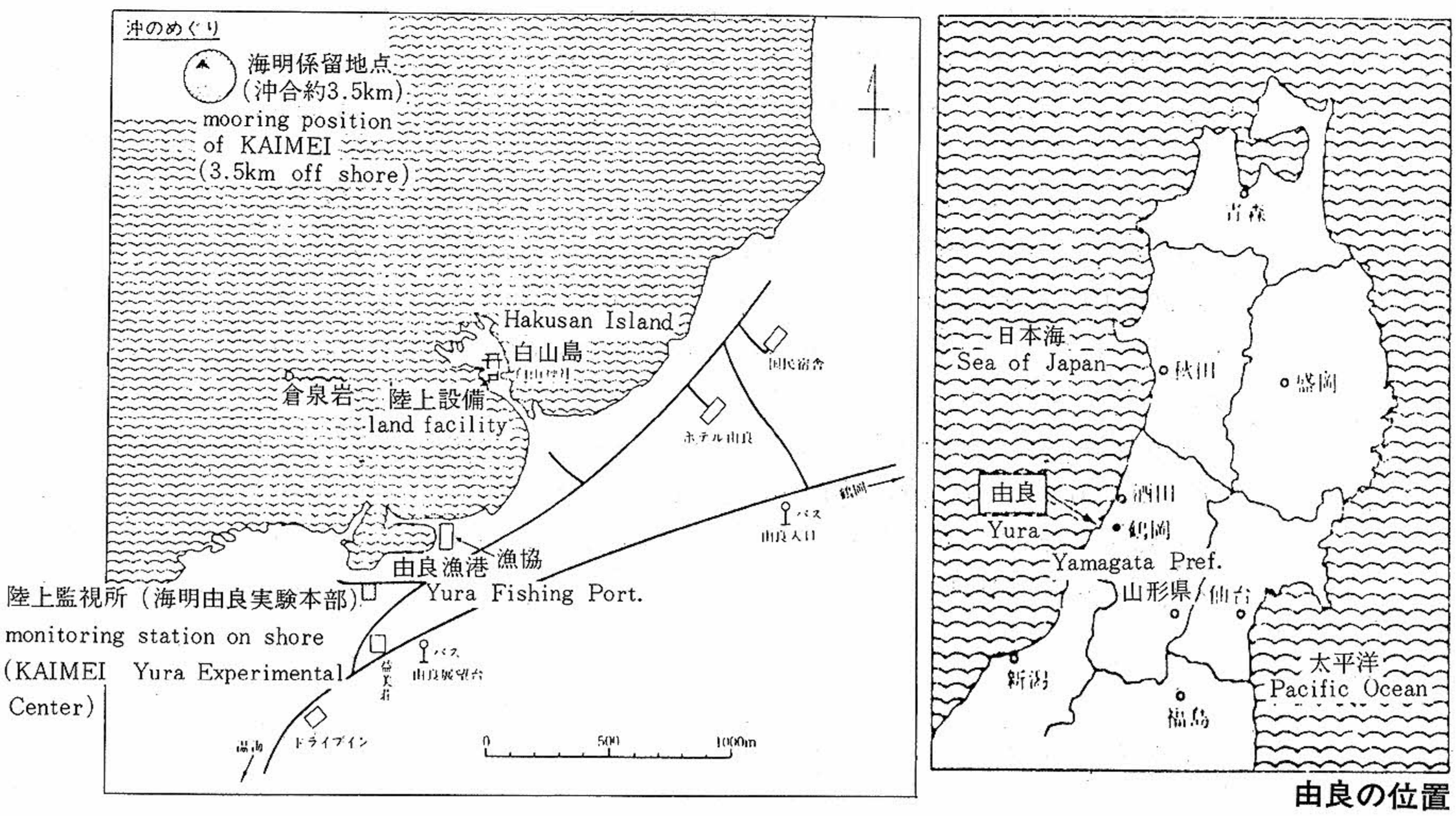


図１　「海明」の設置場所

Mooringes of KAIMEI

2.4　施　設

2.4.1　発電施設の設置場所

図1は“海明”の設置場所を示す。

2.4.2　発電施設の配置

図2は“海明”上の定格出力125kW空気タービン発電機を内蔵した9基の発電ユニット（うち，米国製発電ユニット1基は未搭載）の施設配置図を示す。

この図の中の2号発電ユニットを6kV配電系統連系用に使用した。

2.4.3　発電施設の仕様

波高3m，波周期6secを対象波浪とし，対象波浪における平均発電機出力を定格と呼んでいる。

2.4.4　試験用電力系統

図3は試験用電力系統を示す。

2.5　実験項目

2.5.1　電圧変動の調査

(1)　誘導発電機を配電系統に連系した場合の白山島付近における配電線の電圧変動の調査

(2)　誘導発電機を配電系統に連系した場合の波浪エネルギーの変化とともに，変動する出力および大出力発生時の配電線の電圧変動の調査

2.5.2　自己励磁現象の調査

誘導発電機が配電系統と並列運転中に，配電線が解列した場合は，力率改善用コンデンサーおよび送電ケーブルの静電容量に起因する誘導発電機の自己励磁現象によって，定格電圧よりも非常に大きい電圧上昇をきたす恐れがある。

この現象に対して，保護継続電器が正常に動作するかどうかについて調査する。

2.5.3　発電機出力特性の調査

波力発電では，波浪の一波ごとに出力が大きく変動する。

この変動する波浪エネルギーに対して，誘導発電機の出力特性がどのように変化するかを調査する。

2.5.4　出力平滑化の調査

波力発電機の出力変動を平滑化するための一方策として，ダンパータンク方式を採用した。この方式は空気室からの出力を空気エネルギーの状態で集合し，平滑化するものである。

この方式によって，空気圧変動，出力変動などの平滑化効果を調査する。

3.　電力系統連系システム

3.1　概　要

本実験に用いた発電機は，定格125kW，AC 200Vの誘導発電機1台である。発生電力は，“海明”上の200V／6.3kVの変圧器で昇圧され，船内で消費されるほか，6.6kV送電ケーブル（海中および海底）および白山島の陸上設備を経由して，東北電力株式会社の6.6kV配電系統に送電する。

誘導発電機を配電系統に連係するには，その回転速度を同期速度付近（同期速度の±10%）まで近づけたのち，人-Δ（スターデルタ）始動方式で系統へ接続し，運転を開始する。

このため，波の発生状況に応じて，安全弁を開放（大波時），または閉塞（小波時）し，回転数を制御する。

送電ケーブルは，誘導発電機で発電した電力を配電系統へ送電するだけでなく，“海明”用船内電源，誘導発電機の励磁電源の受電用としても使用する。すなわち，波浪がある程度大きいときには，発電して配電系統へ送電し，凪時にはモータリング状態となり，逆に無効電力の励磁電源を配電系統から受電する。

図4は送電ケーブルの敷設ルートを示す。

3.2　主要機器の仕様

3.2.1　“海明”上の設備

(1)　タービン

電力系統連系用タービンは，他の4枚弁方式の同期発電機用に使用する空気タービンと同様である。ただし，回転数が異なっている。

表1はタービンの仕様を示す。

(2)　発電機

波浪エネルギーは，時々刻々変化するため，発電機の速度調整装置の製作が困難である。このため，同期化する必要がなく，また，運転時に励磁を調整する必要がないことから，電力系統連系用として，誘導発電機を採用した。

表2は発電機の仕様を示す。

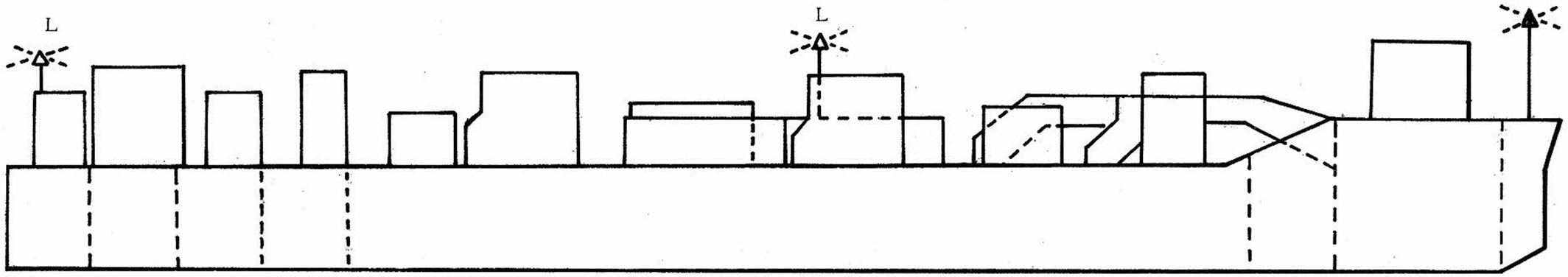
(3)　系統連系用変圧器（表3　参照）

(4)　遮断器および開閉器（表4　参照）

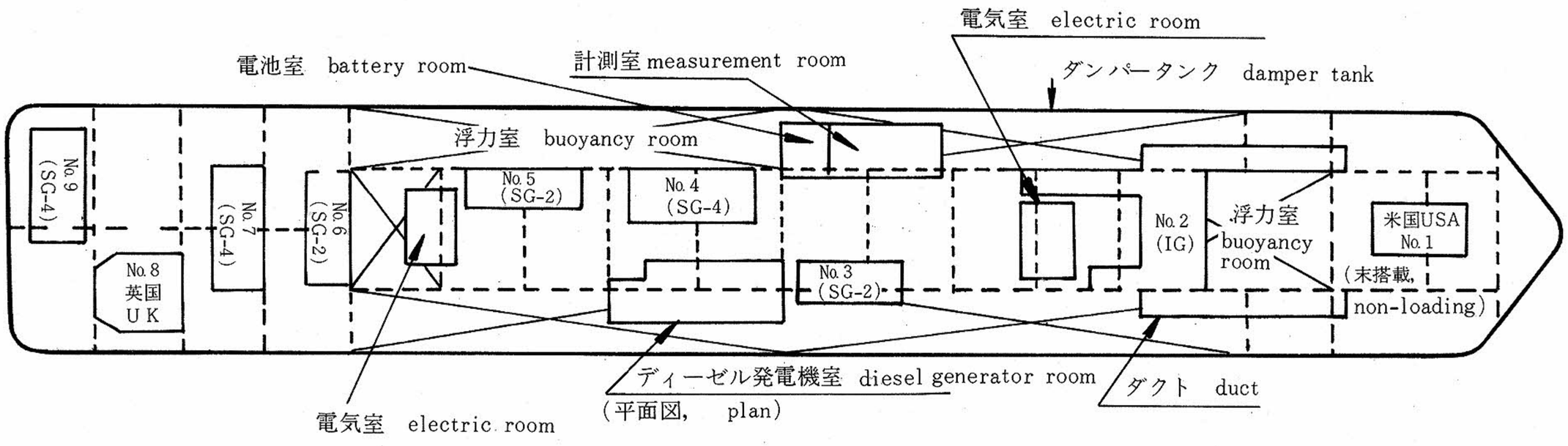
(5)　保護装置（表5　参照）

3.2.2　陸上設備

表6は陸上設備の遮断器，進相コンデンサー，避雷器および保護装置の仕様を示す。



（側面図,　side viuw）



（平面図,　plan）

L, 航路標燈　navigation beacon light

SG, 同期発電気, synchronous generator

IC, 誘導発電機, induction generator

2…2枚弁, 2 valves type

4…4枚弁, 4 valves type

図2　海明上の施設配置図

Layout of generetors on KAIMEI

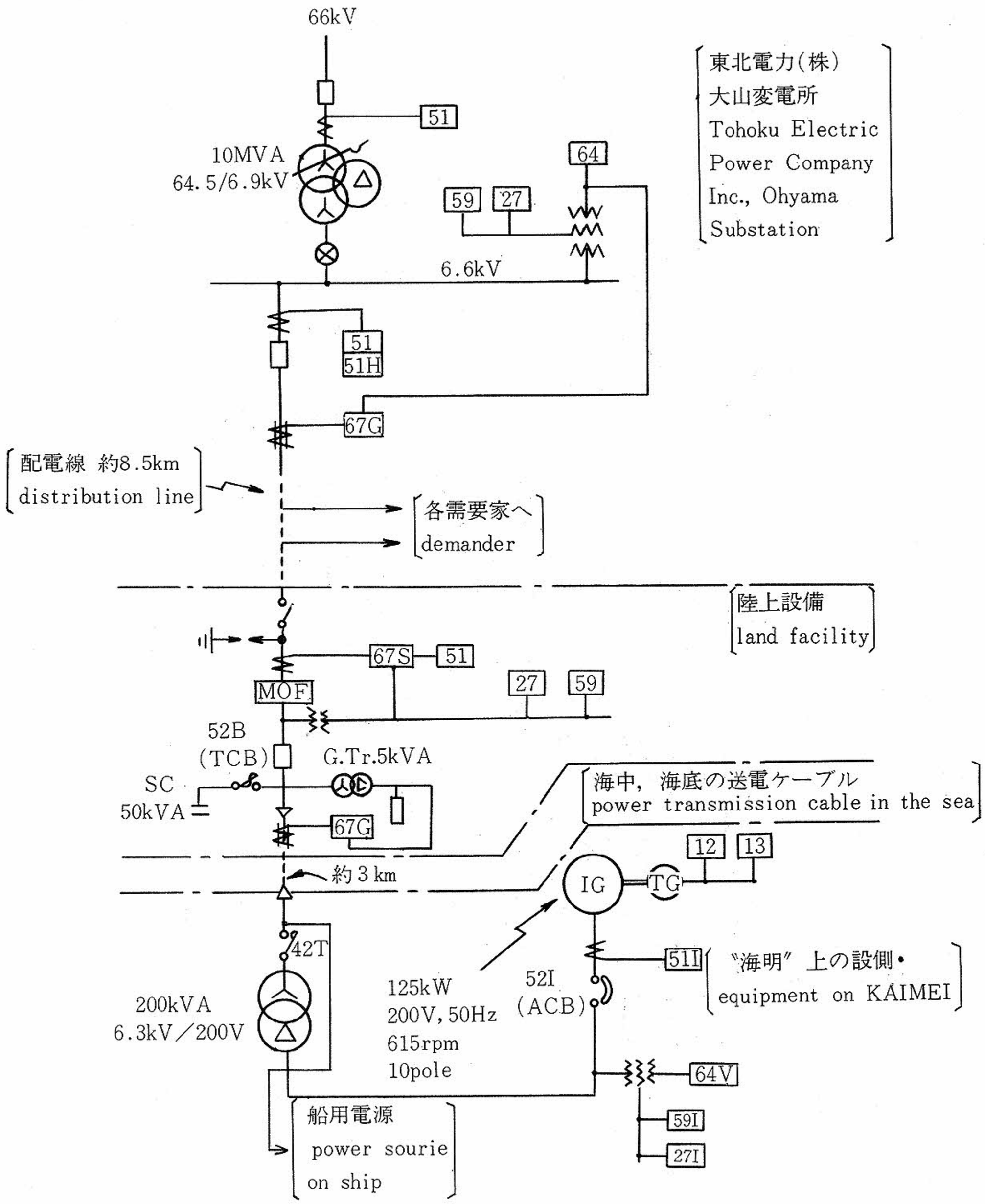
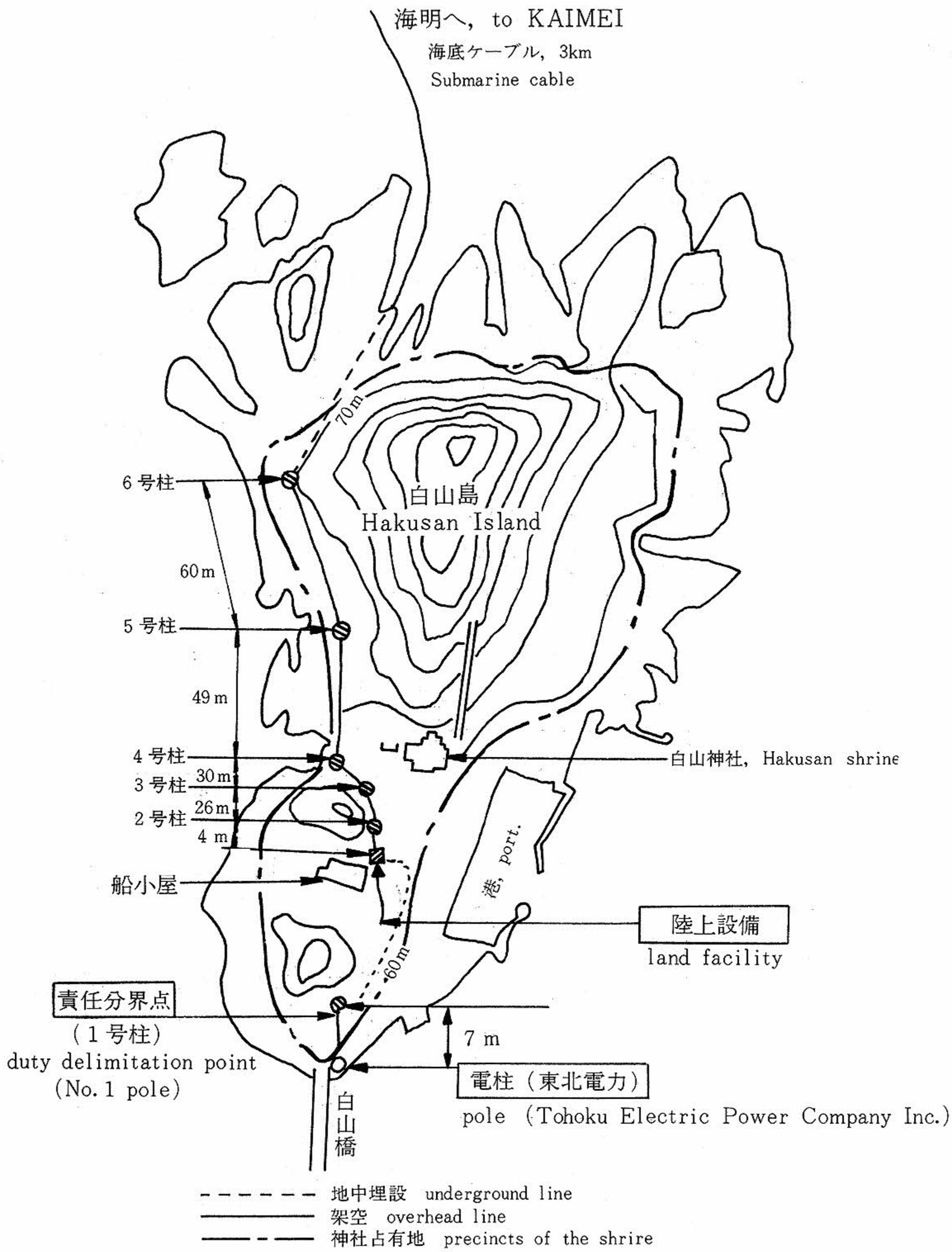
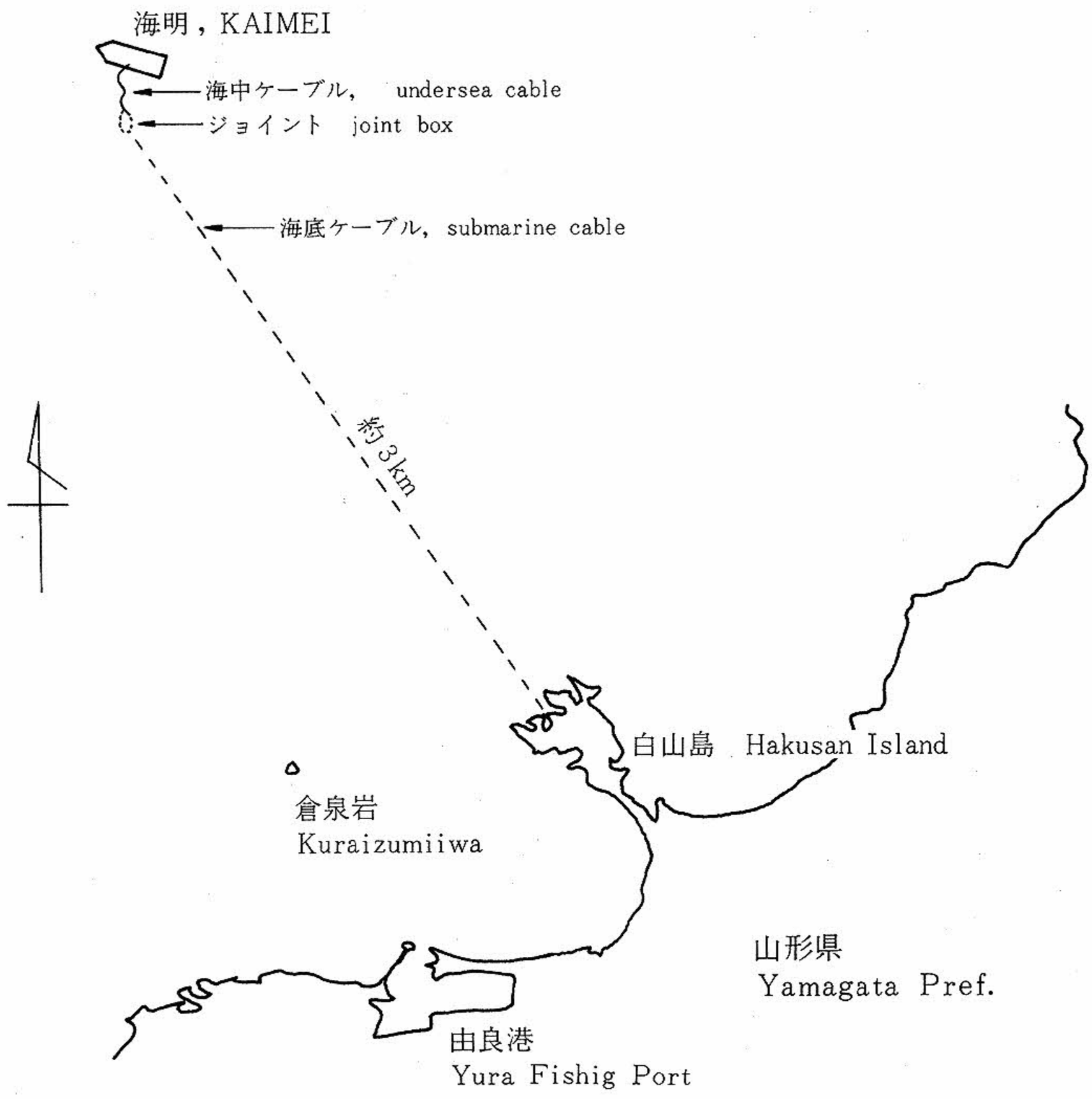


図3　試験用電力系統
Electric power system for the examination



(1) 責任分界点⟶海底立上り部間
No. 1 pole→exit of Hakusan Island

図4 送電ケーブルの敷設ルート（その1）
Laying of the electric power cable (part 1)



(2)　白山島——→海明間
Hakusan Island→KAIMEI

図4　送電ケーブルの敷設ルート（その2）
Laying of the electric power. cable (part 2)

表1　発電タービンの仕様
Specifications of the air turbine

項　目 item	仕　様 specification
1. 形　式 tyqe	横軸形軸流式衝動タービン horizontal type axial flow impulse turbine
2. 絞り率 throttle factor	1/416
3. ランナ： runner	
外　径 outer dia.	1,400mm
枚　数 number of blades	60枚
面　積 area of exit	3,896 cm^2
材　質 materials	アルミニウム合金鋳物 aluminum alloy castings
4. ノズル： nozzle	
外　径 outer dia	1,350mm
枚　数 number of blades	50枚
面　積 area of exit	2,238 cm^2
材　質 materials	アルミニウム合金鋳物 aluminum alloy castings
5. 支持枠材質 materials of supporting frame	鋼　材，（SS41） steel
6. 回転速度 revolvtions	615 rpm

表2　発電機の仕様
Specifications of the generator

項　目 item	仕　様 specification
(1) 形　式 type	横軸かご形誘導発電機 horizontal type squirrel cage induction generator
(2) 外被保護形式 enclosure	全閉外扇形 totally enclosed fancooled type
(3) 定格出力 rated output	125kW
(4) 定格容量 rated capacity	156kVA
(5) 定格電圧 rated voltage	200V
(6) 相　数 no. of phase	3 ϕ
(7) 定格周波数 rated frequency	50Hz
(8) 定格電流 rated current	450A
(9) 定格回転速度 rated revolvtion	615 rpm
(10) 無拘束回転速度 runaway speed	2,000 rpm
(11) 極　数 no. of pole	10
(12) 絶縁種別 class of insulation	E　種 E class
(13) 始動方式 starting method	スターデルタ star-delta

表3　変圧器の仕様
Specifications of the tansfomer

項　目 item	仕　様 Specifications
(1) 種　類 kind	乾式自冷モールド変圧器 dry type self-cooled transformer
(2) 容　量 capacity	200kVA
(3) 電　圧 voltage	6.9-6.6-6.3-6.0kV/200V
(4) 相　数 no. of phase	3 φ
(5) 周波数 froquency	50Hz
(6) 絶縁種別 class of insulation	B　種 B class
(7) 定　格 rating	連　続 continuous
(8) 結線法 connection	スターデルタ star-delta

表4　遮断器および開閉器の仕様
Specifications of the circuit breaker and the contactor

用　途 application	発電気主回路 main circut of generator	変圧器主回路 main circut of transfomer
種　類 kinds	低圧気中遮断器 air circuit breaker (low voltage)	高圧電磁接触器 electromagnetic contactor (high voltage)
器具番号 device No.	52I	42T
フレームサイズ frame size	1000A	—
極　数 no. of pole	3	3
定格電圧 rated voltage	600V	6.6kV
定格電流 rated current	1000A	100A
定格遮断電流 rated interrupting current	50kA (250V)	2kA (6.6kV)

表5　保護装置
Protective device

器具番号 device.No.	名　　称 article	設定値 setting (PCTI換算)	備　　考 remarks
27 I	不足電圧リレー under voltage relay	170 V	PT 220/110V
59 I	過電圧リレー over voltage relay	230 V	PT 220/110V
64 V	地絡過電圧リレー overvoltage ground relay	80 V	PT 220/110V
51 I	過電流リレー overcurrent relay	700 A	CT 1000/5A
12	過速度リレー overspeed relay	1600rpm	
13-3	過速度リレー overspeed relay	690rpm	自己励磁保護用 for self-exciting protection
13-4	不足速度リレー speed relay	510rpm	自己励磁保護用 for self-exciting protection
38 B	温度リレー temperature relay	85°C	軸受温度用 for bearing temperature
38 WG	温度リレー temperature relay	115°C	巻線温度用 for winding temperature
26 T	温度リレー temperature relay	75°C	変圧器保護用 for transformer protection
13-1	規定速度リレー speed relay	540rpm	発電機投入用 for 52 I closing
13-2	規定速度リレー speed relay	660rpm	発電機投入用 for 52 I closing

表6　陸上設備
Land facility

(1) 遮断器, Circuit breaker

用　　途 application	系統連系用 for power system interconnection
種　　類 kind	油入遮断器 oil circuit breaker
器具番号 device number	52 B
極　　数 no. of pole	3
定格電圧 rated voltage	7.2kV

(つづく, continuous)

定格電流 rated current	400A
定格遮断電流 rated interrupting current	8kA (7.2kV)

(2) 進相コンデンサー, Capacitor

定格容量 rated capacity	50kVA
相　　数 no. of phase	3 ϕ
周 波 数 frequency	50Hz
電　　圧 voltage	6.6kV

(3) 避雷器, Lightning arrester

定格電圧 rated voltage	8.4kV
周 波 数 frequency	50/60Hz
公称放電々流 nominal discharge current	5kA

(4) 保護装置, Protective device

器具番号 device.No.	名　　称 article	設定値 setting (PCTI換算)	備　　考 remarks
27	不足電圧リレー undervoltage relay	5100 V	PT 6600/110V
59	過電圧リレー overvoltage relay	7200 V	PT 6600/110V
51	過電流リレー overcurrent relay	24 A	CT 30/5A
67 S	短絡方向リレー directional short-circuit relay	24 A	CT 30/5A
67 G	地絡方向リレー directional ground relay	200mA	

表7　ダンパータンク方式の仕様
Specifications of the damper tank system

(1)　空気室の面積，areas of air chamber:
(A)および(B)；合計　43m²
(C)および(D)；合計　50m²
総計　total，93m²
(2)　ダンパータンクの容量 volumes of damper tanks;
左舷，port;　360m³
右舷，starboard;360m³
総計　total，720m³
(3)　弁機構および弁枚数
(a)弁機構，valve mechanism;
4枚弁方式，four valve type
(b)弁枚数，number of valves;
吸排気用，for supply and exhaust96枚
大気用，for atmosphere　24枚
総計　total 120枚
(4)　絞り率，throttle factor:
タービンノズルの面積，areas of turbine nozzle;
0.2238m²
空気室の面積，areas of air chamber;
93m²
絞り率，throttle factor;0.2238/93＝1/416

3.2.3　ダンパータンク方式

空気タービン方式による波力発電では，波浪の一波ごとの出力が大きく変動する。この出力変動を平滑化するため,ダンパータンク方式を採用した。

図5はダンパータンク方式の原理図，図6は“海明”上のダンパータンクの配置を示す。

これらの図中の空気室(A)および(B)から押出された変動空気圧を弁箱および大容量のダンパータンク内に入れ，位置の異なる空気室(C)と(D)を用いて波動位相のずれた空気圧を弁箱およびダンパータンクに圧入し，空気圧を平滑にしたのち，空気タービンに流入させ，空気出力および発電出力の変動を小さくする。

表7はダンパータンクの仕様を示す。

3.3　操　作

3.3.1　発　電　機

発電機の始動，停止は，機側操作，または遠隔操作ができるようにした。

陸上監視所で発電機の異常を予知した場合，または火災，衝突などの異常を発見した場合の非常処置として，テレメーターの制御コマンド指令で発電機を非常停止できるようにした。

3.3.2　白山島の陸上設備

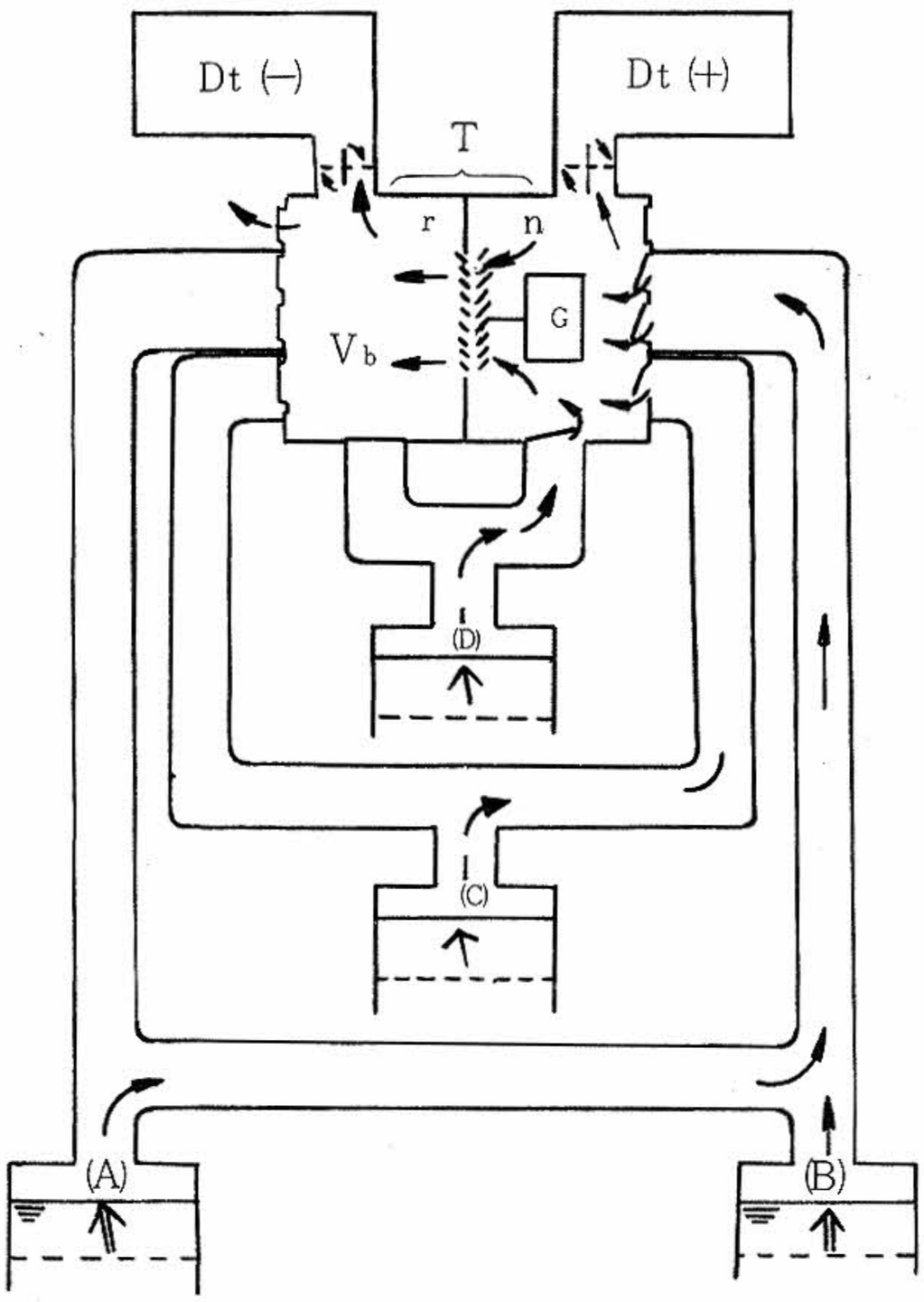
陸上設備は，すべて機側操作である。

3.3.3　故障時

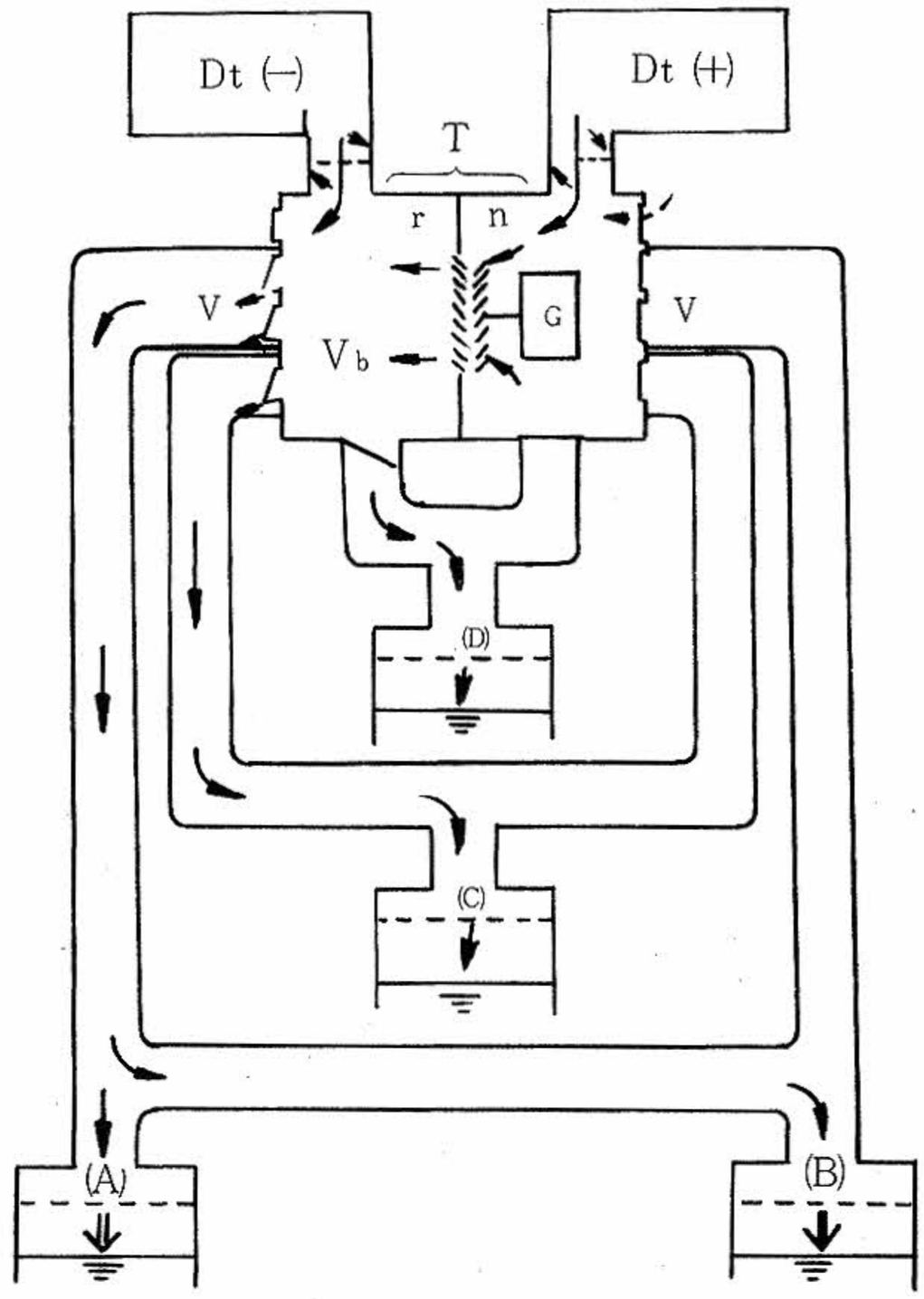
“海明”上の誘導発電機および白山島の陸上設備に，異常の発生した場合には，前述の保護装置で，それぞれ自動遮断して発電機を停止できるようにした。

4.　試験実施要領

海洋科学技術センターと東北電力株式会社は，“波力発電装置で発電した電力を電気事業用電力系統に接続送電するための研究”に係かわる共同



(1) 波の上昇行程
up stroke



(2) 波の下降行程
down stroke

(A), (B), (C), (D)…空気室, air pump room
Vb …弁 箱, valve box
G 発電機, generator
T …タービン, turbine
n …ノズル, nozzle
r …ランナ, runner
← …空気流, air flow
V …弁, valve
↑または↓波, wave
Dt(−) …ダンパータンク（負圧）, damper tank (negative pressure)
Dt(+) …ダンパータンク（正圧）, damper tank (positive pressure)

図5 ダンパータンク方式の原理図
Damper tank mechanism

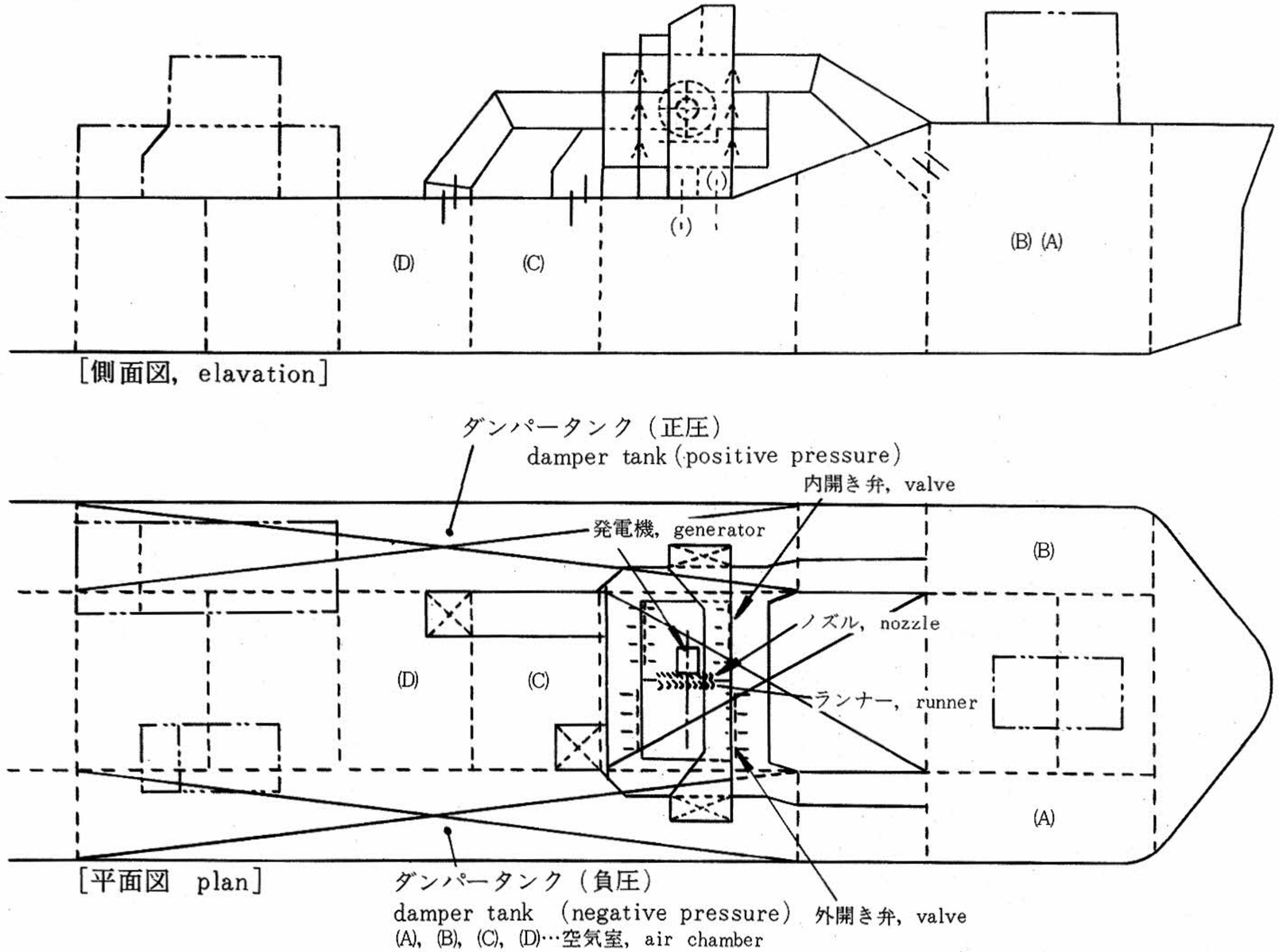


図6 ダンパータンク方式の概略配置図
Arrangement of damper tanks

研究契約書および覚書を締結し，かつ電気事業法施行規則第38条第二号の規程で，“試験使用届出書”を資源エネルギー庁に提出し，その受理をうけて総合試験ならびに長期運転試験を実施した。

なお，実施に当って，総合試験を行い，配電系統に与える影響が目標値以下であることを確認してから長期運転試験を行った。

4.1　総合試験

4.1.1　試験項目

(1)　並列前の電圧測定

配電線の電圧変動を把握するため，並列試験前における配電線の電圧（ＡＣ　6kＶ）を白山島の陸上設備で測定する。

(2)　並列試験

誘導発電機を配電線に並列した場合，陸上設備地点（白山島付近）で配電線の電圧変動が，次の目標値以内に入っていることを確認する。

(a)　突入電流による電圧降下は6.22％（6.6 kV 側410Ｖ）以下であること。

(b)　最大出力発生時の電圧フリツカ値は0.4Ｖ以下であること

(3)　自己励磁現象試験

誘導発電機を並列運転中，責任分界点の気中開閉器を解放した場合，発電機の挙動，ならびに，これを保護する各種継電器の動作状態を確認する。

4.1.2　試験回路

図7は試験回路を示す。

4.1.3　実施要領

総合試験は覚書にある実施体制，実施予定表，連絡体制などに基づき，東北電力株式会社と海洋科学技術センターとの総括者が試験の各ステップごとに協議して実施した。

4.2　長期運転試験

4.2.1　試験項目

(1)　発電状況および電圧変動の測定

(a)　陸上監視所で，波の発生状況，誘導発電機の電流および回転数を測定，監視する。

(b)　陸上監視所で配電線（ＡＣ 100Ｖライン）の電圧変動を偏差電圧計（ΔＶ計）およびフリツカメーター（ΔV_{10}計）による測定

(2)　過大波発生時の電圧変動の確認

過大波が間歇的，または連続的に発生した場合の電圧変動を監視し，目標値以内に入っていることを確認する。

(3)　自己励磁現象試験

誘導発電機を並列運転中，責任分界点の気中開閉器を開放し，系統から解列した場合は，発電機の挙動，ならびに，これを保護する各種継電器の動作状態を確認する。

4.2.2　試験回路

図7は試験回路を示す。

4.2.3　実施要領

長期運転試験は実施体制，連絡体制，安全の確保，保安などについて東北電力株式会社側と十分に協議して実施した。

5.　実験結果および考察

総合試験および長期運転試験の結果，以下に示すように配電系統への影響は，電圧変動は目標値以下で，需要家へのサービスレベル以下にならないことが実証できた。

5.1　電圧変動

5.1.1　系統並列時の配電線の電圧変動

図8は測定結果の例を示す。

この図によれば，下記の値はいずれも目標値以内で，一般需要家に対して，特に悪影響を及ぼしていない。

(1)　突入電流による電圧変動値は，6.6kＶベースで最大170 Ｖ，電圧変動率は2.57％であり，電圧降下継続時間は0.25sec程度である。

(2)　突入電流は人-Δ（スターデルタ）切換え時で最大24.8Ａである。

5.1.2　運転時の電圧変動

図9および図10は測定結果の例を示す。

これらの図によれば，波の呼吸によって生ずる

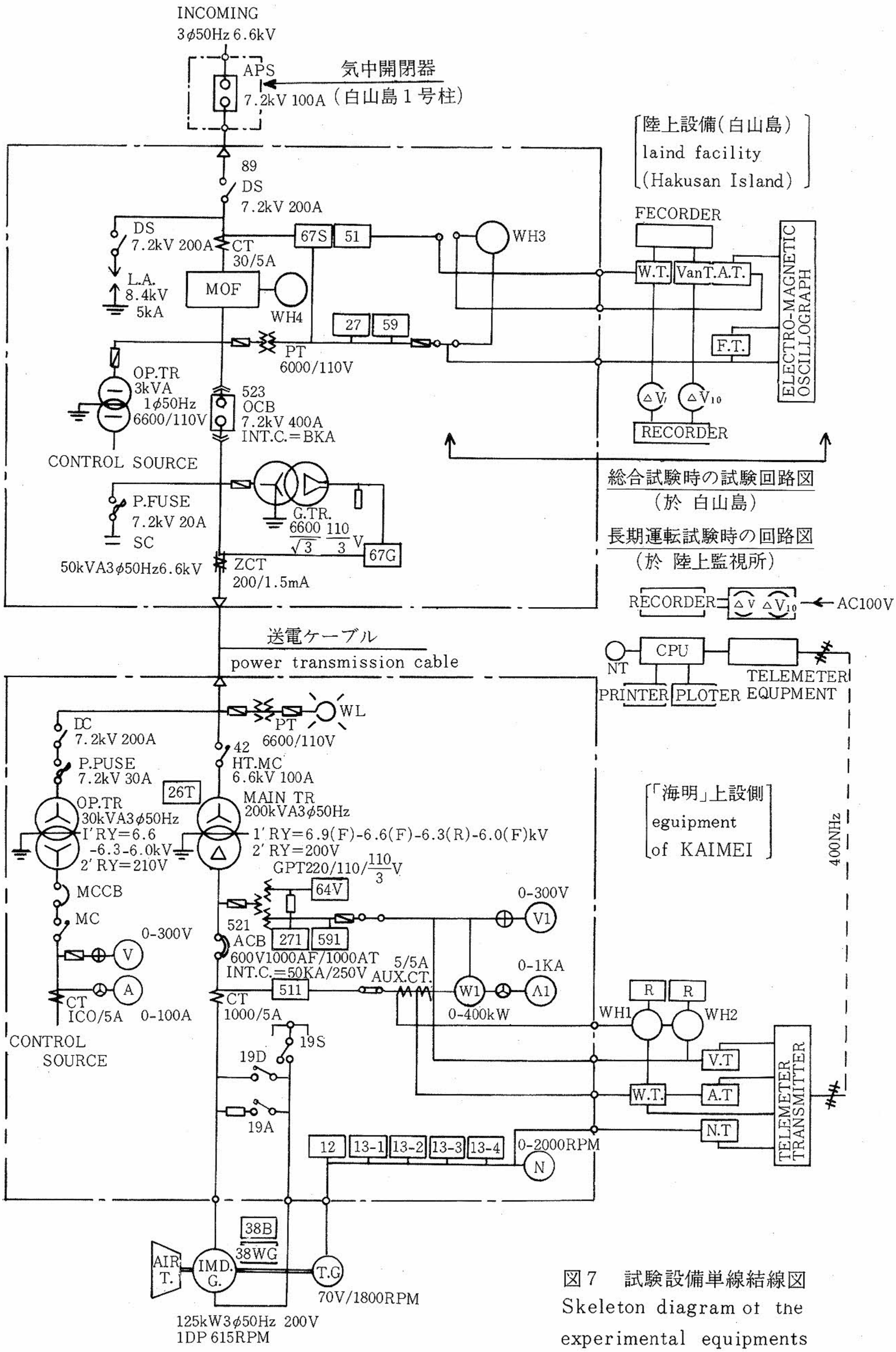


図7　試験設備単線結線図
Skeleton diagram of the experimental equipments

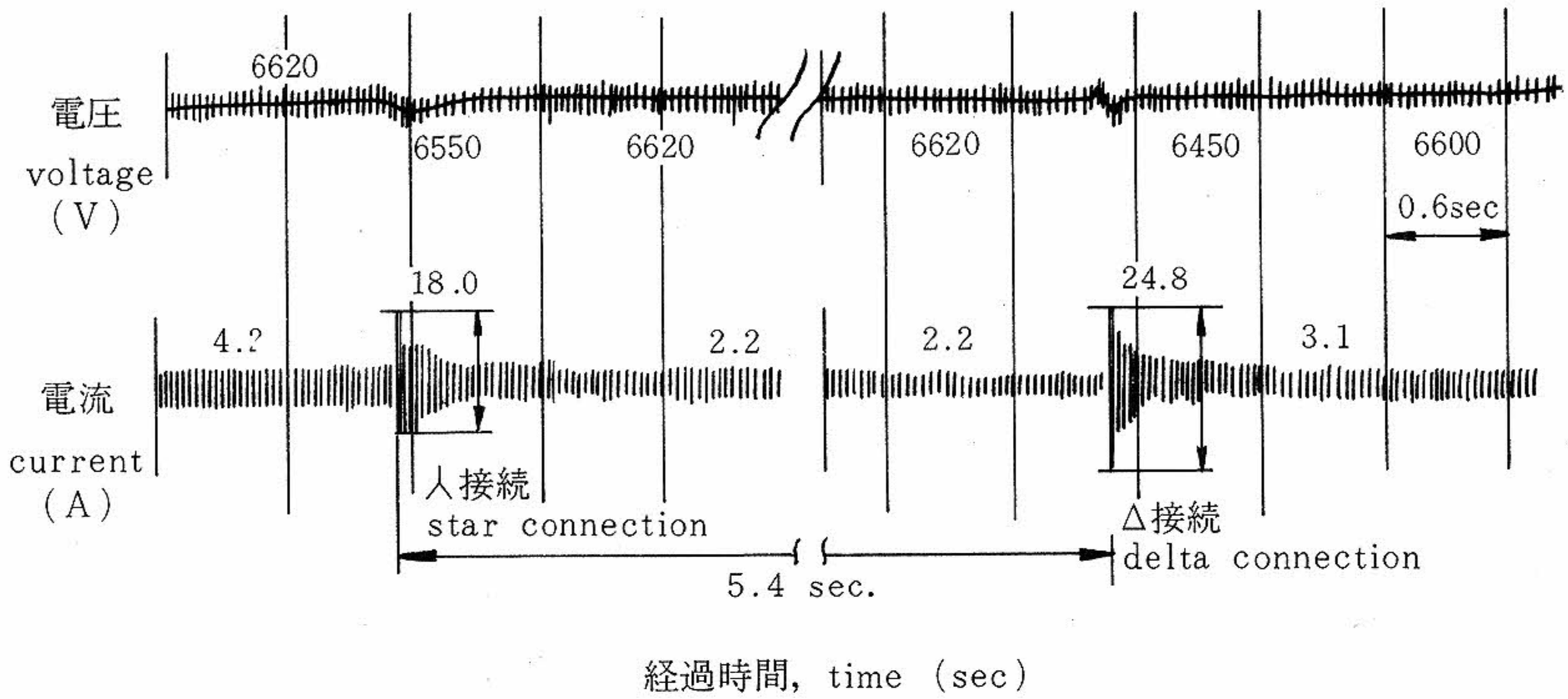


図8　誘導発電機並列時の配電線の電圧変動
Voltage fluctuation on distribution line of starting period of induction generator

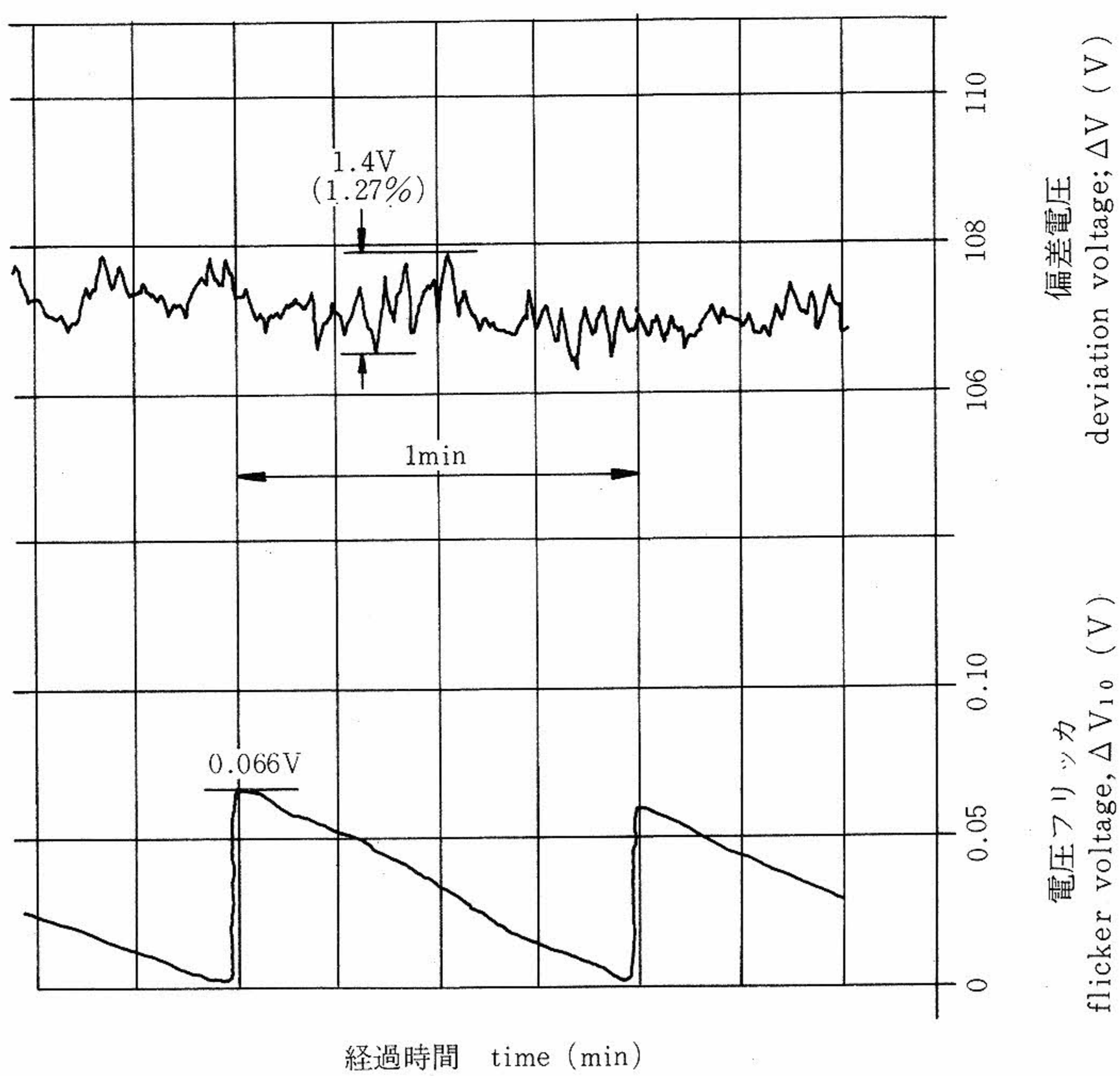


図9　"海明" 運転時の配電線電圧変動 (85kW　発電時)
Voltage fluctuation on distribution line during induction genarator running (85kW　power generation)

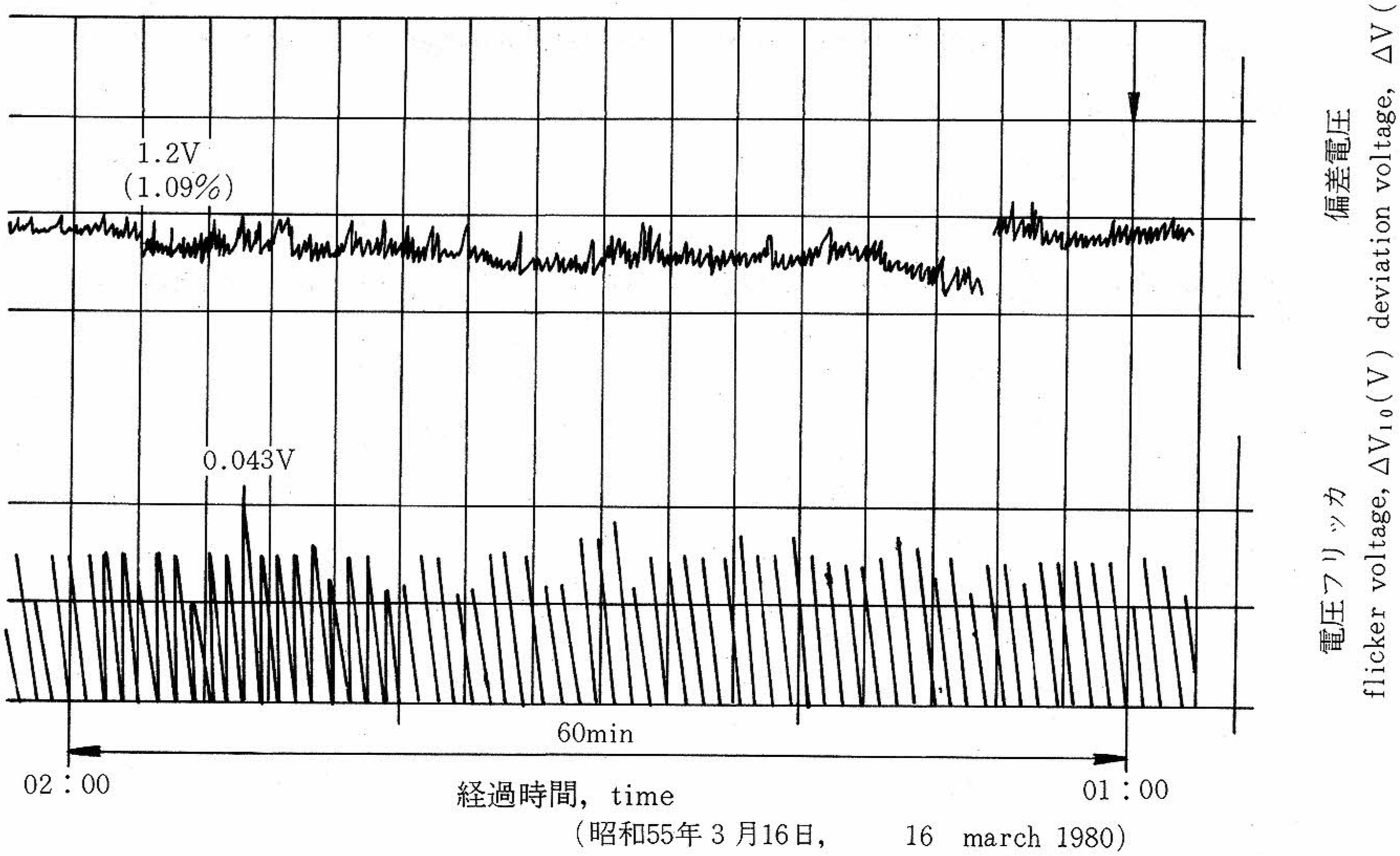


図10 〝海明〟運転時の配電線電圧変動
（185 kW発電時）
Voltage fluctuation on distribution
during induction generator running
（185 kWpower generation）

電圧変動値は，いずれも目標値以内で影響がなかった。

(1) 85kW発電時の電圧変動値は110Vベースで1.4V，電圧変動率は1.27%であり，そのときの電圧フリッカ値は0.066Vで目標値(0.4V)以下におさまっている。

(2) 185kW発電時の電圧変動値は110Vベースで1.2V，電圧変動率は1.09%であり，そのときの電圧フリッカ値は0.043Vである。

これは深夜発生した記録で，ベースとしての配線電圧変動はきわめて小さかったため，この値におさまっている。

(3) 期間中の最大電圧変動値は日中で1.45%であった。

（注） 電圧フリッカとは，60W白熱電燈のちらつきによる不快度を，これと等価な正弦波基準周波数(10Hz)の電圧変動に換算した値である。

5.2 自己励磁現象

誘導発電機が並列運転中配電線が解列した場合は，力率改善用コンデンサーと送電ケーブルの静電容量の影響によって，自己励磁現象が発生し，“海明”および陸上設備が，高圧にさらされる可能性がある。そこで，この自己励磁現象の有無を確認した測定結果を図11に示す。

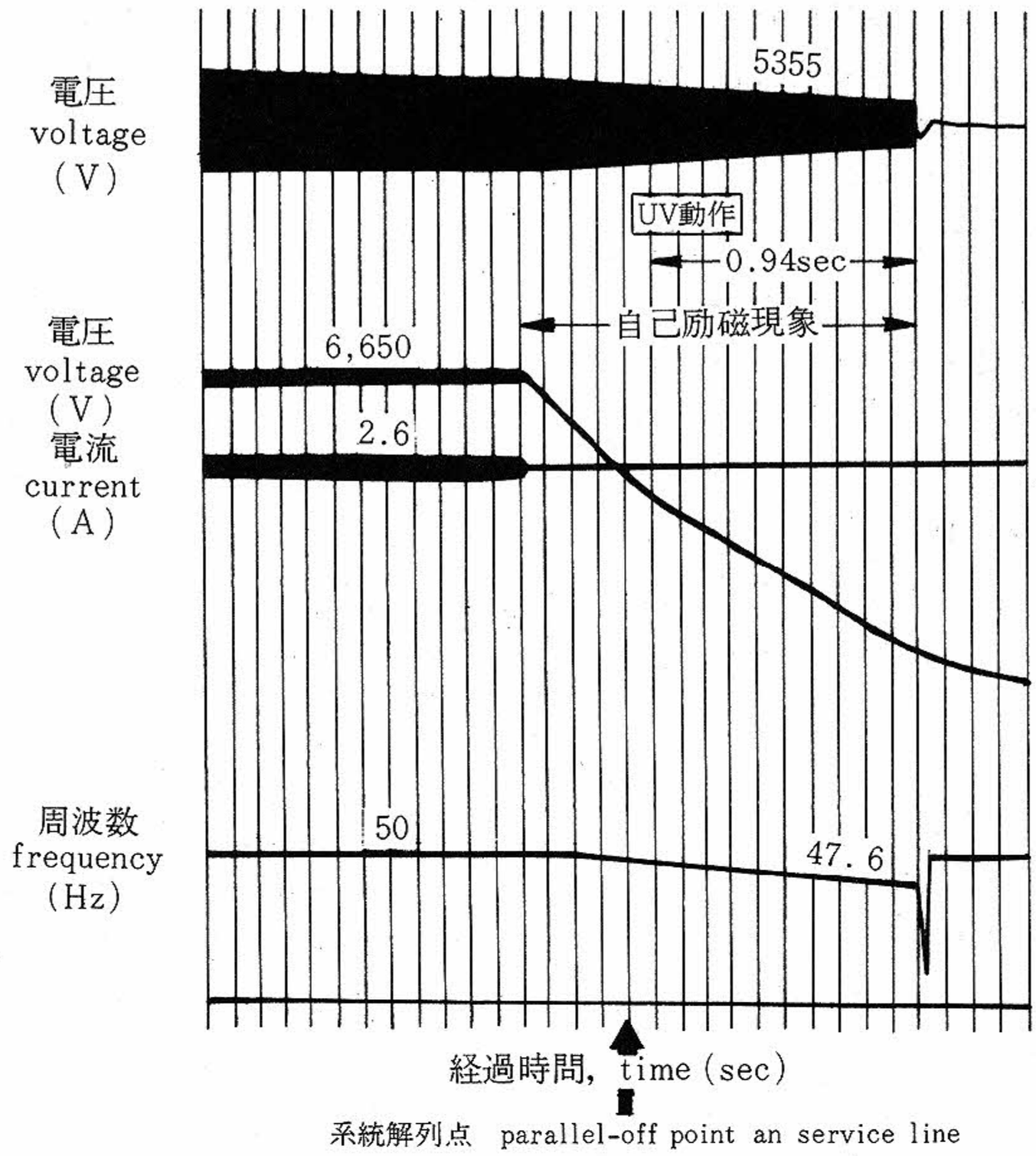


図11 自己励磁現象試験
Self-excitation phenomena of induction generator

この図によるば，配電線解列時に電圧が下がり，不足電圧継電器（27）が動作し，陸上および，“海明”上の設備の遮断器がトリップし，自己励磁現象の影響がないことが実証できた。

5.3 発電機の特性

5.3.1 過度特性

(1) 系統並列

誘導発電機の場合には，その回転速度を同期速度付近まで近づけたのち，系統へ並列した。しかし，発電機自体は無電圧であるため，過渡現象が伴ない，定格電流の5～6倍の突入電流が流れる。これに対する対策には，始動方式に人-Δ（スターデルタ）始動を採用し，突入電流を押えることとした。

並列時の突入電流による配電線の電圧変動は前述のように，目標値以内で影響の少ないことが実証できた。

(2) 自己励磁現象

誘導発電機が並列運転中，配電線が解列した場合は，コンデンサーの進み電流で発電機が励磁され，高い電圧が誘導される，いわゆる，自己励磁現象が発生する。電動機の場合と異なり，遮断後，回転速度が増加するので，発電機の無負荷飽和特性およびコンデンサーの電圧ー電流特性は一層，自己励磁現象が生じやすいものとなる。

このような自己励磁現象を防止するため，過電圧継電器および速度継電器を設置し，これらの動作で，発電機を解列するようにした。負荷遮断後の電圧の経過は，前述のように，配電線に影響を及ぼさないことが実証できた。

5.3.2 運転特性

誘導電動機を電源に接続した状態で，外部動力

で強制的に同期速度以上の速度で回転させようとすると，電動機軸に与えられた外力は電力に変換され，誘導電動機は誘導発電機として運転されることになる。

誘導発電機は常に進み力率で，しかも発電機の負荷率で，一律に決まる力率で運転される。また，誘導発電機は系統から励磁電流を得て運転するので，単独運転はできない。

(1) 波高対電気出力特性

図12は有義波高 対 電気出力特性を示す。

この図によれば，有義波高約0.9 mから発電を開始し，有義波高3 m付近で瞬間最大出力が185kWに達している。

瞬間最大出力および平均出力はそれぞれ有義波高の1.5乗に比例する傾向がある。

なお，過大波発生時の電圧変動を考慮し，1月中，178kWで解列させることにしていた。しかし，運転実績をみて，3月以降は250kWに，その出力範囲を拡大した。

(2) タービン差圧力 対 電気出力特性

図13はタービン差圧力 対 電気出力特性を示す。

この図によれば，発電出力はタービン差圧力の1.5乗に比例する傾向があり，それは空気出力がタービン圧力の1.5乗に比例することから妥当なものと思われる。

(3) 波高 対 タービン差圧力特性

図14は有美波高 対 タービン差圧力特性を示す。

この図によれば，タービン差圧力は有義波高に比例する傾向がある。

上記(1)，(2)および(3)から，次のことが言える。

(a) $P_G \propto (H_S)^{1.5}$

(b) $P_G \propto (\mathrm{Press})^{1.5}$

(c) $\mathrm{Press} \propto H_S$

ただし，P_Gは発電出力(kW)，H_S は有義波高(m)，Pressはタービン差圧力（mmH_2O）である。

その他，発電機の出力について，今回の陸上送電試験から判断し，次のことが言える。

今回の波力発電設備のように，発電機容量が系統容量からみて小さいものは，その経済性から誘導発電機とするのが好ましい。また，波の呼吸による出力変動の影響を少くするには，波力発電設備の出力をなるべく大きな系統に直接接続するのが好ましい。しかし，その立地条件などを考慮すれば，今後とも，むしろ反対に配電系統の末端となるケースが多いことが予想される。

5.4 出力の平滑化

波力発電機の出力変動を平滑にする一方策として，ダンパータンク方式を採用した。これは空気室からの出力を空気エネルギーの状態で集合し，平滑化するものである。また，波の上下運動によって，発電出力は波周期の半分の周期で変動する。この影響で配電系統側に電圧の変動を引起こすことになる。

これに対して，空気圧力の変化幅を小さくするようにするとともに，最大出力発生時の電圧変動が，配電系統へ影響を与えることを考慮し，1月中は，最大発電出力を制限し，制限値を越えた場合には発電機を配電系統から解列することにした。1月中における長期運転試験中に発電出力が制限値を越え，自動的にトリップした回数は9回あった。その後，出力制限を解除し，長期運転試験を行い，最大出力は185kWであった。

なお，発電出力の変動回数は計画的には20回／min(波周期＝6sec)とした。実測値では15～18回／min，特に16回／min(波周期＝7.5sec）が顕著である。

図15は誘導発電機運転時の計測結果の例を示す。

この図によれば，一波一波の空気圧力では平滑化の効果は認められるが，波のグループによって起こる出力の息づきについては，ダンパータンクなしの場合のデータを取得していないなどによって，平滑化の効果は定量的に比較できない。

6. おわりに

今回の第二次海域実験は，電気事業用電力系統と並列して発電する世界で始めての新しい技術であった。

試験結果は目標値以内におさまり，特に問題のないことが実証でき，送電試験は成功したと言える。しかし，波浪エネルギーの吸収変換率，プロセスの変換効率の改善，エネルギーの集合化，各システムの最適化などを根本的に見直し，検討す

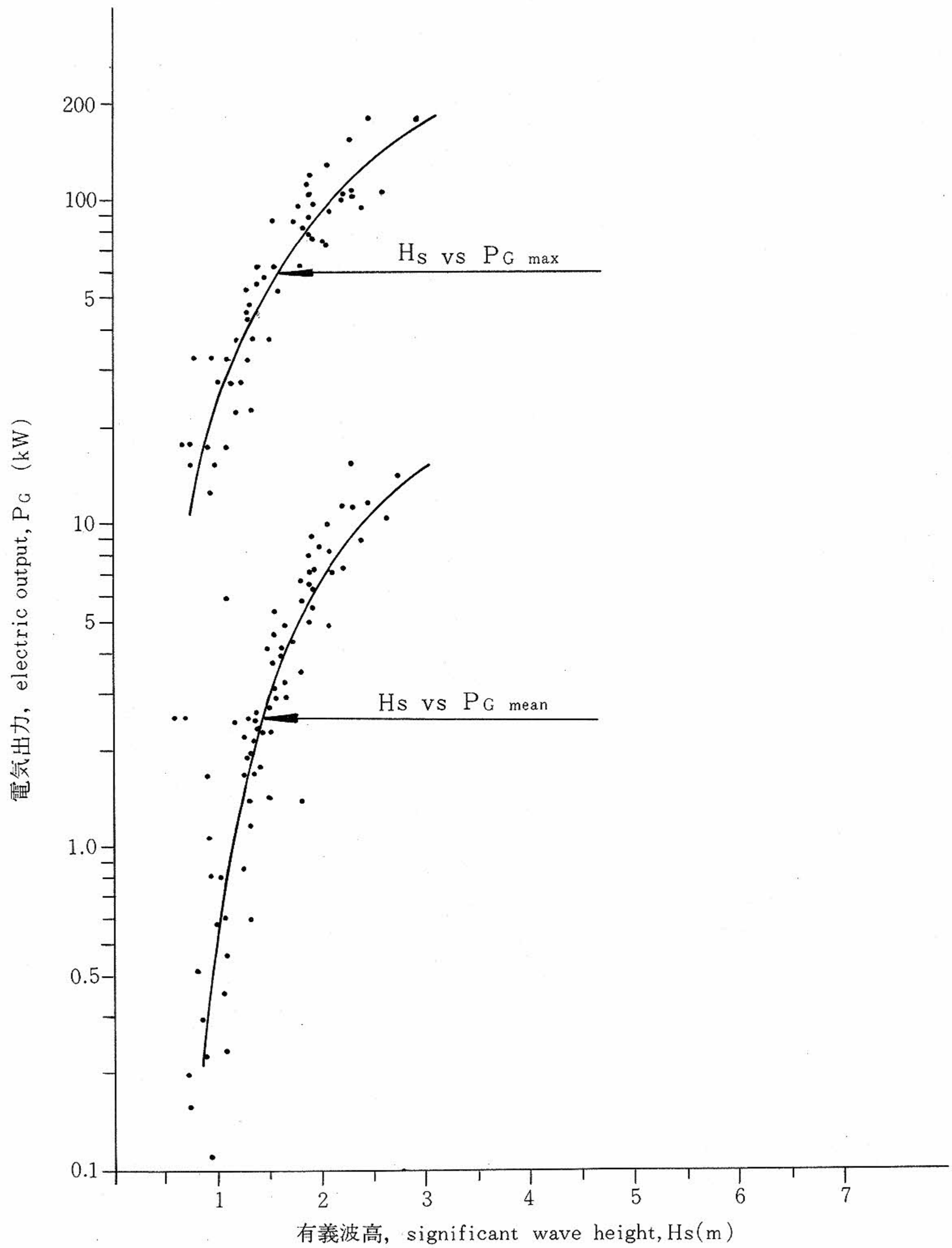


図12　波高対電気出力特性（電力系統連系試験時）

Characteristic of significant wave height and electric output

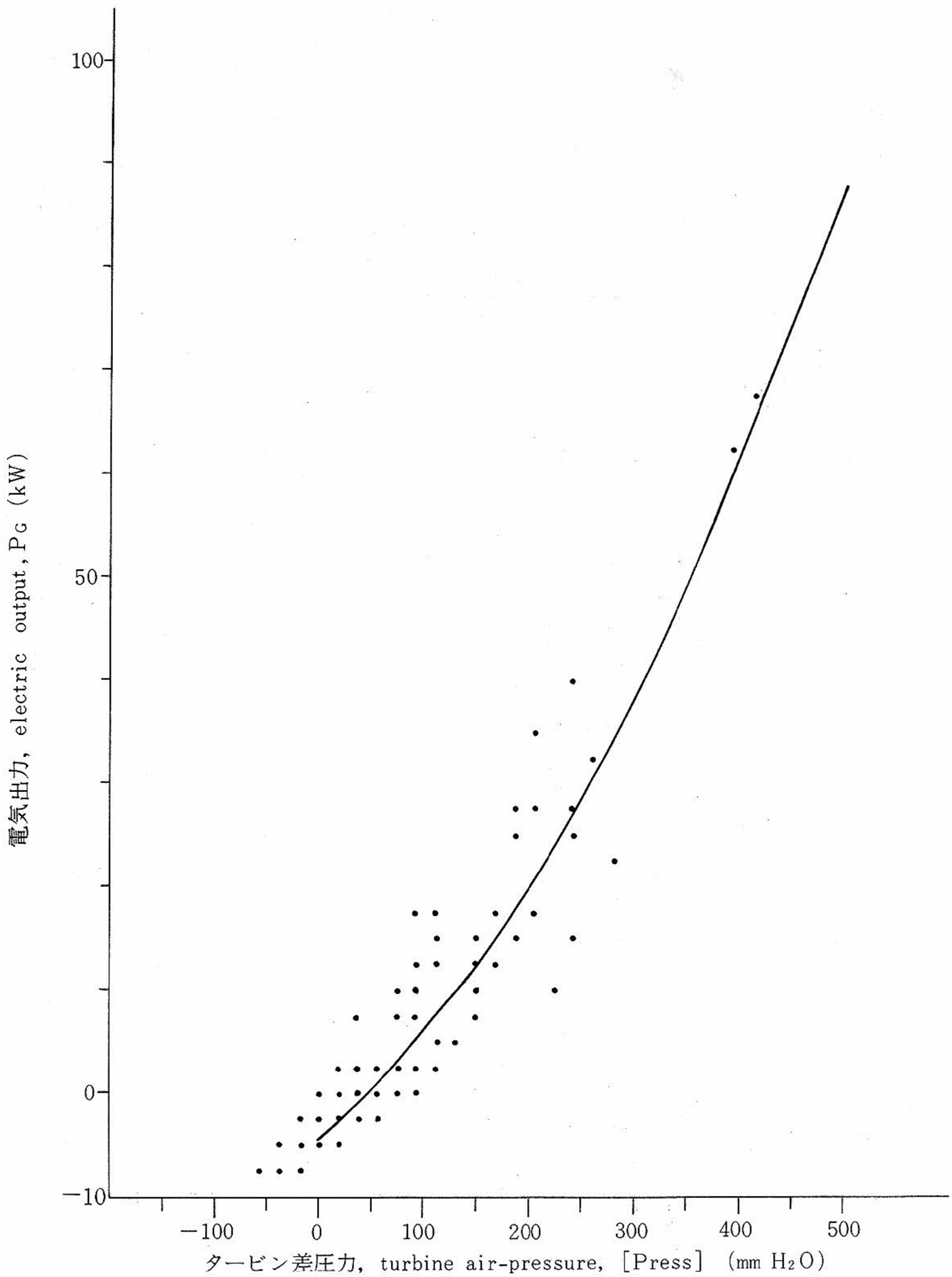


図13　タービン差圧力対電気出力特性（電力系統連系試験時）
Characteristic of turbine air-pressure and electric output

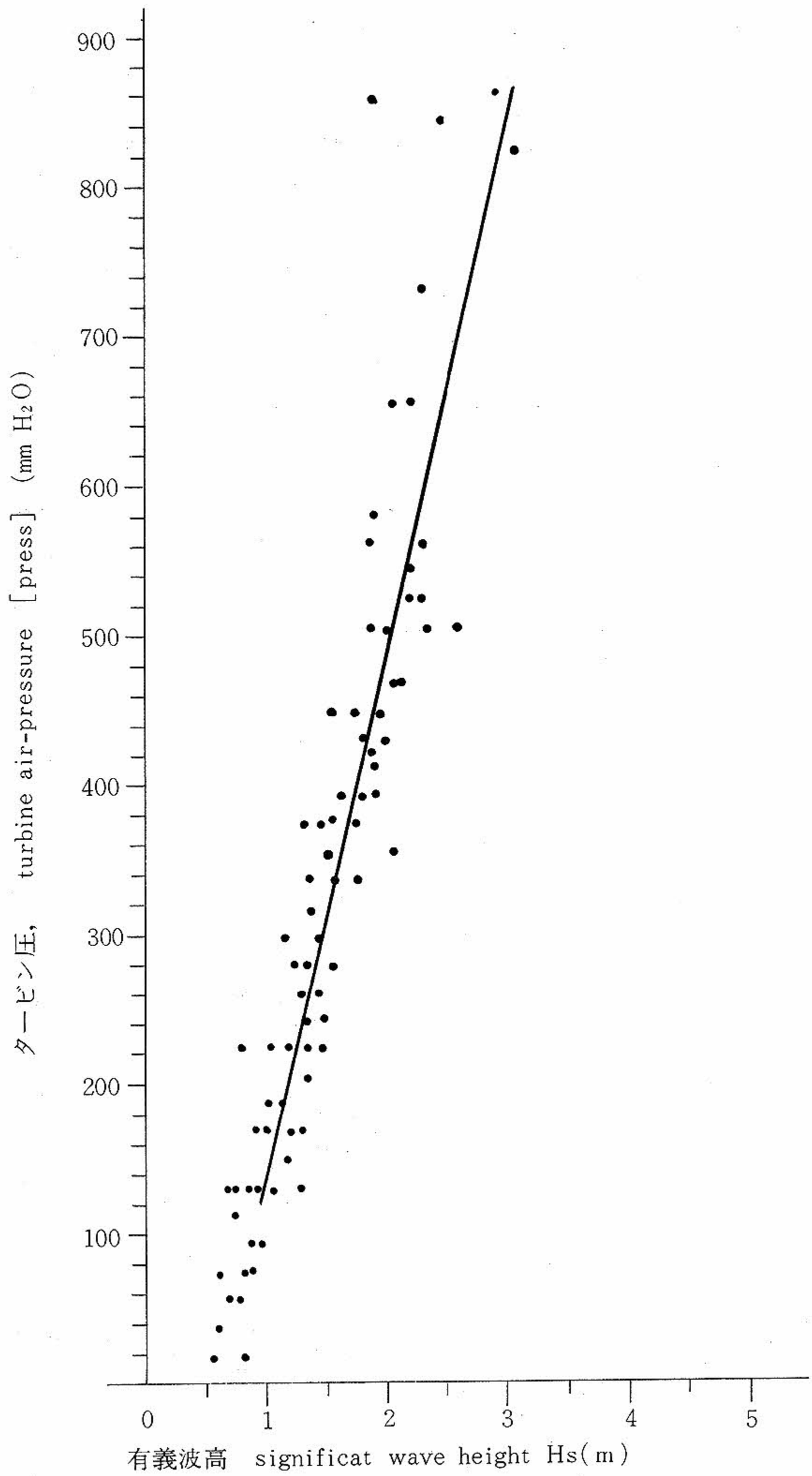
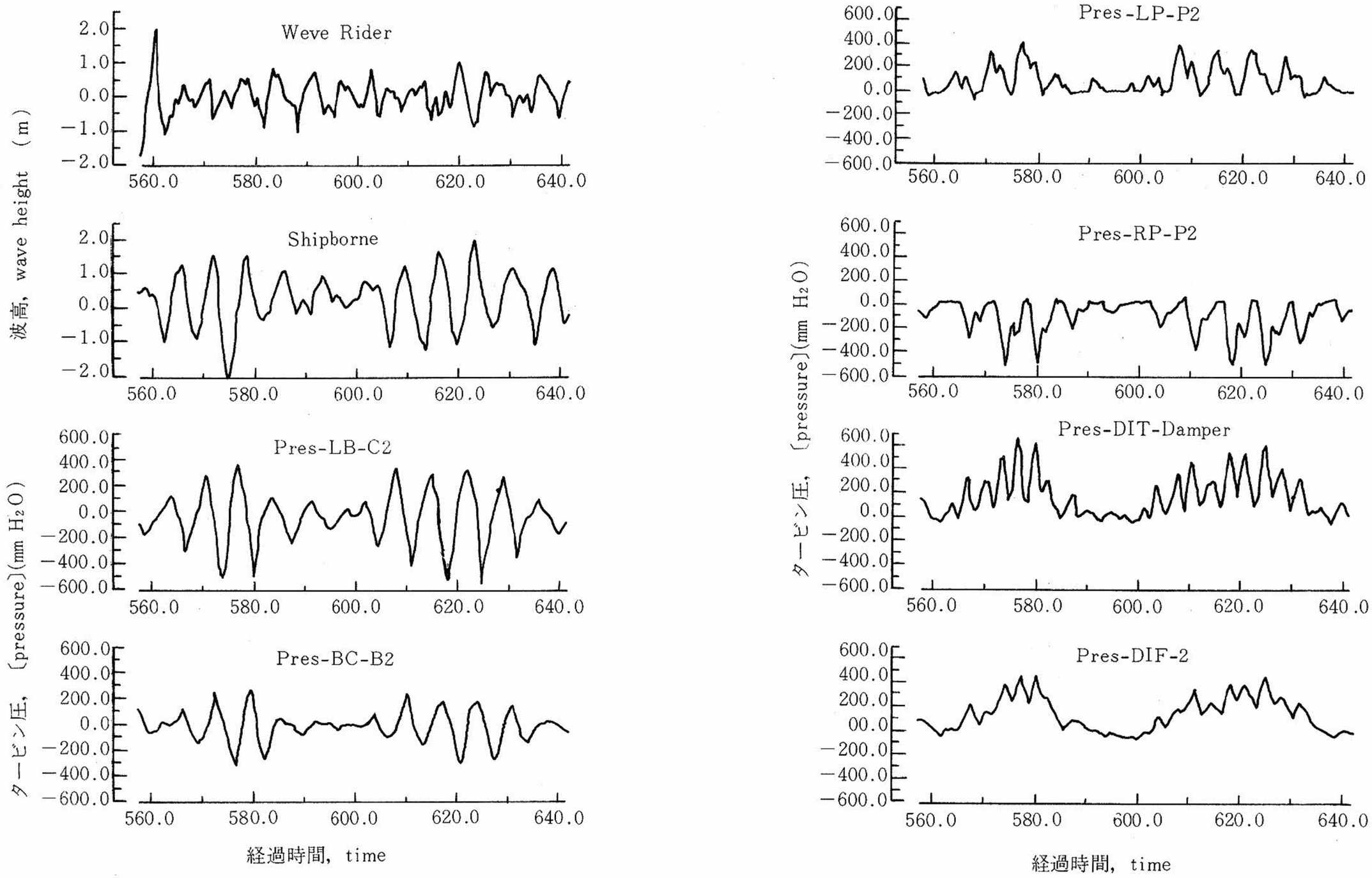


図14 波高対タービン圧力特性（電力系統連系試験時）
Characteristic of wave height and turbine air-pressure


Weve Rider
Shipborne
Pres-LB-C2
Pres-BC-B2
Pres-LP-P2
Pres-RP-P2
Pres-DIT-Damper
Pres-DIF-2
波高, wave height (m)
タービン圧, 〔pressure〕(mm H2O)
経過時間, time
2.0
1.0
0.0
−1.0
−2.0
600.0
400.0
200.0
0.0
−200.0
−400.0
−600.0
560.0
580.0
600.0
620.0
640.0

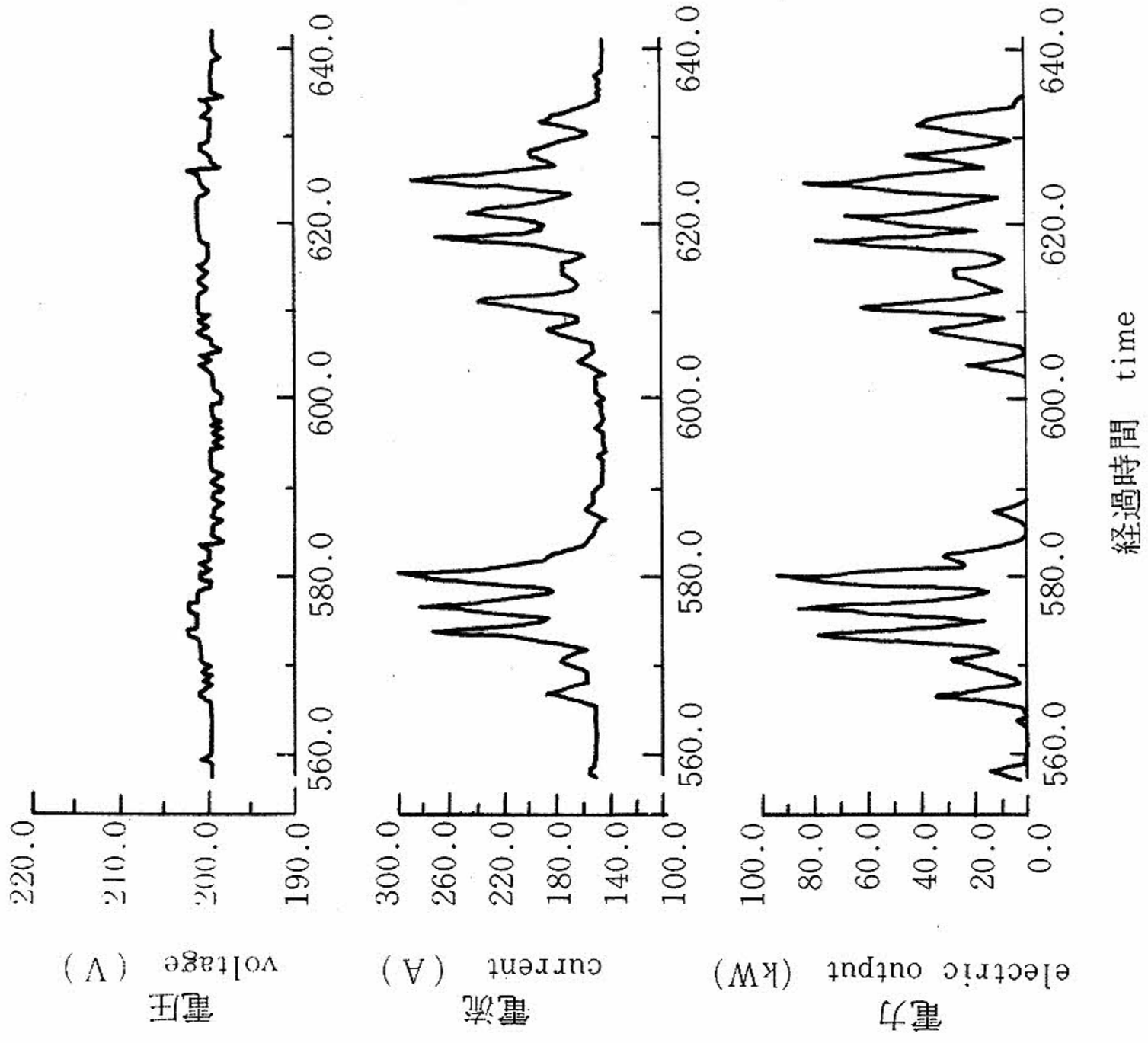


図15 誘導発電機運転記録
Running records of the induction generator

べき今後の技術的課題が多数あった。

今後，今回の海域実験の貴重な成果を踏まえ，波力発電の実用化に向って一歩でも，二歩でも近づき，将来のエネルギー不足時代に対処したい。

文　献

1） 益田善雄，宮崎武晃，1979，〝消波発電装置“海明”の実験〟 JAMSTECTR (3) 71～74

2） 大野健一，益田善雄，甲斐源太郎ほか，1980，〝消波発電装置“海明”の実験〟（第2報），綜合設計計算書〟，JAMSTECTR (5) 109～124

3） 大野健一，益田善雄，甲斐源太郎ほか，1980，〝消波発電装置“海明”の実験〟（第3報），〝海明第一次海上実験〟，JAMSTECTR (5) 125～132