

配電線利用情報伝送システムの開発

Development of Distribution-Line Information Transmission System

配電系統総合自動化システムを実現するための重要な要素技術として、配電線利用情報伝送システムを開発した。本システムは配電用変電所～柱上設備間の高压配電線利用システムと、柱上設備～需要家間の低压配電線利用システムを階層的に接続して構成する。いずれのシステムも小容量の受動素子を線路～大地間に入切することによって信号を発生させるとともに、雑音の影響を受けにくい大地帰路を利用して伝送を行なう方式を採っており、安価で伝送信頼性の高いシステムを実現している。実配電線を用いた試験でも、電話線などの専用線を用いた場合と同等の伝送誤り率が得られており、いっそうの小形化を図ることによって近い将来に実用化できるものと期待される。

宮原 晃*Akira Miyahara

池田 敏**Satoshi Ikeda

渡部篤美***Atsumi Watanabe

抜山 誠****Makoto Nukiyama

石川博章*****Hiroaki Ishikawa

宮崎照信*****Terunobu Miyazaki

1 緒 言

オイルショックに端を発し、省エネルギーの思想が定着してきている。電力系統でも膨大な系統をきめ細かく制御し更に効率の良い運用を行なうことが重要な課題となっている。また、供給信頼度をより高くして需要家へのサービスを向上することも大きな課題である。

このような課題に対処するため、各電力会社は設備の総合自動化の検討を強力に推進している。配電系統でも柱上開閉器の監視制御、温水器の開閉や負荷のピークカットなどに代表されるロードマネージメント、更には積算電力計の自動検針など総合自動化への要求が強い。

しかし、配電系統では監視及び制御の対象が極めて多数であり、しかもこれらが広い範囲に散在しているので、上記の総合自動化システムを実現するためには、高信頼度でかつ経済的な信号伝送システムを開発することが必須の条件である。

配電系統の機器や需要家はすべて配電線で結ばれているので、これを伝送路とすれば新たに伝送線路を布設する必要がなく、経済的な伝送システムを実現できるわけである。しかし、配電線には各種の電氣的雑音が重畳される場合が多く、誤りのない伝送を行なうために配電線に注入する信号を大きくしようとすると、大形大容量の信号源が必要になるという問題がある。このため、特に配電線の末端から変電所への上り方向の伝送が難しく、これを解決することが大きな課題であった。

日立製作所で開発した配電線利用情報伝送システムは、これらの問題点を解決するもので、大地帰路を用い、小容量の受動素子を半導体素子でオンオフ制御するだけで高信頼度伝送を可能にさせるものである。

本論文では、まず将来予想される配電系統総合自動化システムを概説し、これに使用する伝送システムに対する要求を明らかにする。次にその要求を満たすものとして、日立製作所が開発した配電線利用情報伝送システムについて述べる。

2 配電系統自動化の主な内容と必要な伝送システム

将来実施が予想される配電系統自動化の主な内容を表1に示す¹⁾。制御及び監視・計測の対象は柱上設備(開閉器、変圧器)

表1 配電自動化項目と必要な情報伝送 配電系統自動化のためには、営業所～変電所～柱上機器～需要家で双方向の伝送を行なうことが必要である。

種 別	主 な 自 動 化 項 目	伝送情報	伝 送 区 間		
			営業所 (変電所経由)	柱 上	需要家
線路用開閉装置の監視制御	● 開閉器の状態監視 ● 事故時の系統区分・切替 ● 作業停電時の切替 ● 負荷切替	オンオフ信号			
負荷集中制御 (ロードマネージメント)	● 温水器、その他のオンオフ制御 ● 負荷の一部のピークカット	オンオフ信号			
自 動 検 針	● 積算電力計の自動検針 ● 負荷分析	数 値			
配電管理情報の自動収集	● 分岐線電流計測 ● 区間電流計測 ● 配電線末端の電圧計測 ● 断線検出 ● 故障点検出及び故障予知情報収集	数 値			

と需要家(負荷)であるので、同表中に示すように営業所から変電所を経由して柱上設備及び需要家相互間の情報伝送が必要である。

表1の内容を考慮して提案する配電総合自動化システムの基本構成を図1に示す。このシステムは、大別すると次の二つのサブシステムから構成される。

- (1) 需要家及び柱上設備から変電所への情報伝送、変電所から柱上設備及び需要家への制御指令の伝送を行なう配電線情報伝送システム。
- (2) 各変電所に伝送されてくる情報を収集し、この情報に基づいて各種の自動化処理を行なう配電情報処理システム。

このうち(2)の配電情報処理システムは、営業所(あるいは支店)に配置された計算機システムと変電所のデータ中継装置を伝送路で接続した構成となるが、これらはそれぞれ従来から実績のある制御用計算機や電話線による通信回線を用いて

* 九州電力株式会社総合研究所電子応用研究室

** 沖縄電力株式会社那覇支店

*** 日立製作所日立研究所

**** 日立製作所那珂工場

***** 日立製作所システム事業部 工学博士

***** 日立製作所国分工場

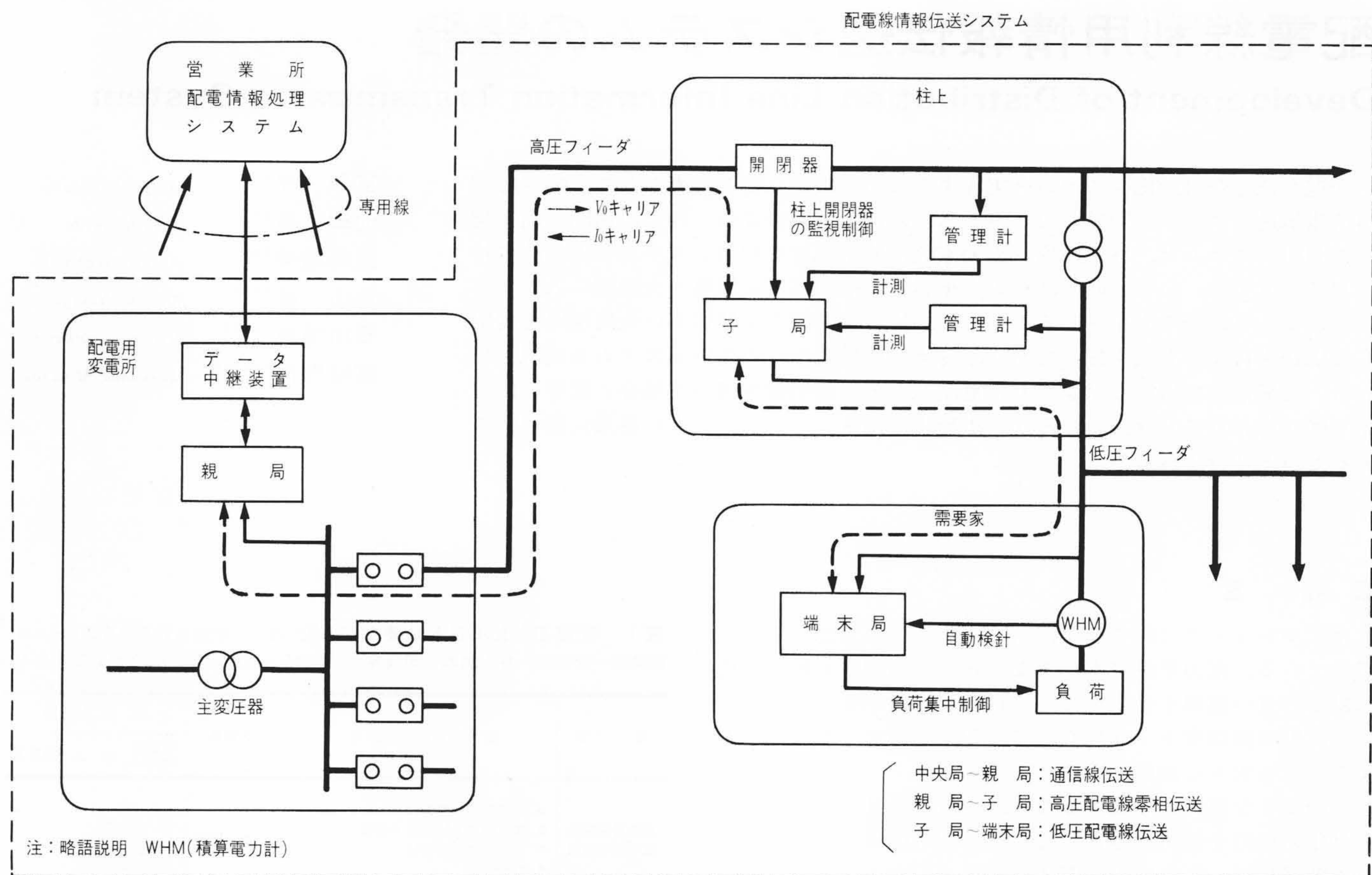


図1 配電総合自動化システム 親局～子局、子局～末端局の伝送システムを階層的に接続することによって、親局と子局、末端局相互間で両方向の伝送を自由に行なうことができる。

実現できるので、計算機のソフトウェア構築を除いては比較的課題が少ない。したがって、新たな開発を要する重要な課題は(1)の配電線利用の情報伝送システムとなる。

このシステムに対する基本的要求は下記のとおりである。

- (1) 上り、下り両方向の高信頼度伝送が可能であること。
- (2) 系統的制約が少ないこと。
 - (a) 架空系、ケーブル系両方に適用できること。
 - (b) 既設の高圧、低圧配電線がそのまま利用できること。
 - (c) 系統の増設、変更に対応できること。
- (3) 装置が小形で安価であること。

以上の要求を満たすものとして図1のシステムでは、変電所に親局、柱上に子局、需要家に末端局を設け、高圧配電線を介して親局～子局間の伝送を、低圧配電線を介して子局～末端局間の伝送を行なうものとしている。子局には親局～子局間の伝送端末としての機能と、親局～末端局の伝送を行なうための中継局としての機能をもたせた。

3 高圧配電線利用零相キャリア伝送システム

配電線はそのインピーダンス特性から見て低周波向きの伝送路であり、確実なシステムとするためには、商用周波数程度の周波を搬送波として用いるのが望ましい。重畳周波数が高すぎると線路の分布容量による減衰や空間への電波放射といった問題があり、反対に低い周波数では伝送速度が遅くなる欠点がある。一方、商用周波数の搬送波を用いる場合には、本来の目的である配電のための商用周波電圧・電流との区別を明確に行なうことが必要である。また、配電線の線間には低い負荷インピーダンスが接続されており、しかもその

値が時々刻々変化する。また、最近ではサイリスタを応用した製品が多く、これから発生するパルス状の高周波電流による障害も問題である。

配電線の線間に搬送波を重畳させる方式では上記の問題点を解決することは困難であるが、日立製作所では配電線の零相回路を利用し、大地帰路の伝送を行なうことによってこれを解決している²⁾。図2に新しく開発したシステムの構成を示す。

3.1 零相キャリア伝送システムの概要

ここで図3の各部波形図を参照しながら図2の零相キャリア伝送システムの動作について説明する。送信側では3相の中の1相(ここではa相とする。)と大地間に小容量のコンデンサを入切することによって、その相の対地電圧をわずかに変化させる。受信側ではコンデンサ分圧器を介して零相電圧の変化としてこの電圧変化を検出する〔波形(b)〕。零相電圧は常時ほとんど零に近い値であるから、この零相電圧の変化を検出することによって大きな変化比が得られるわけである。更に、検出された零相電圧と伝送に用いるa相電圧の積をとることによって波形(c)を得る。零相電圧の信号成分は、この相電圧と同相であるからこの積演算を行なうことによって同期検波効果が得られ、残留零相電圧の影響を大幅に軽減しSN比(信号対雑音比)をいっそう向上させることができる。

この零相伝送方式では、親局→子局、子局→親局いずれの方向の伝送にも全く同じ簡単な回路が適用できる。

次に、半導体スイッチによって電源に同期して入切するコンデンサには、どの程度の容量が必要かについて検討する。

図4に零相電圧の変化を求めるための対称座標法による等価回路を示す。a相と大地間へのコンデンサの入切は、スイ

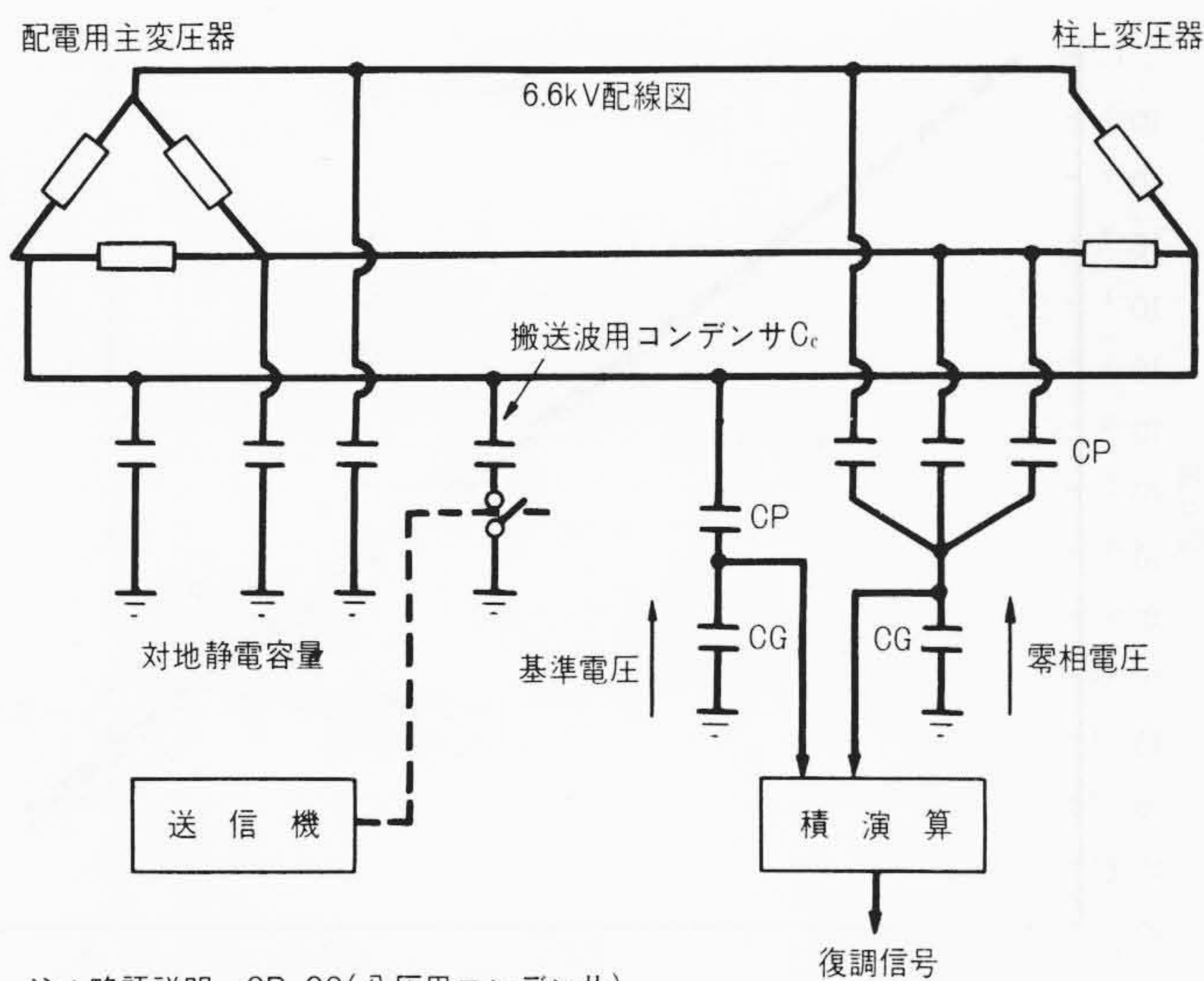


図2 零相キャリア伝送システムの構成 搬送波用コンデンサを入切することによって、配電線の電力を利用して商用周波の搬送波を発生させ、配電線の零相回路を利用してこれを伝送する。

ッチ(SW₁)によるコンデンサ(C₁)の入切に相当する。

Z_{0A} 、 Z_{0B} はこの配電線の対地キャパシタンスに対応するが、これらのインピーダンスは一般に配電線の正相、逆相インピーダンス Z_1 、 Z_2 に比べて非常に大きい。このため、インピーダンスが Z_{0C} のコンデンサ(C₁)の入切によって発生する零相電圧の変化 ΔV_0 は次式で表わされる。

$$\Delta V_0 \div V \times \frac{Z_{0A} + Z_{0B}}{3 \times Z_{0C}}$$

したがって、配電線の対地キャパシタンスの1%程度の容量のコンデンサを入切すると、零相電圧(V_0)を相電圧の約1%だけ変化させることができる。あとで述べる実フィールドでの試験の結果から、この程度の電圧変動で十分誤りの少ない伝送が可能であることが証明された。したがって、対地静電容量の大きいケーブル系統に適用する場合でも0.1 μ F程度の小容量のコンデンサの入切で十分信頼性のある伝送が可能である。

3.2 零相キャリア伝送システムの特徴

零相キャリア伝送システムは2章で述べた必要条件を満足するほか、次のような特長をもっている。

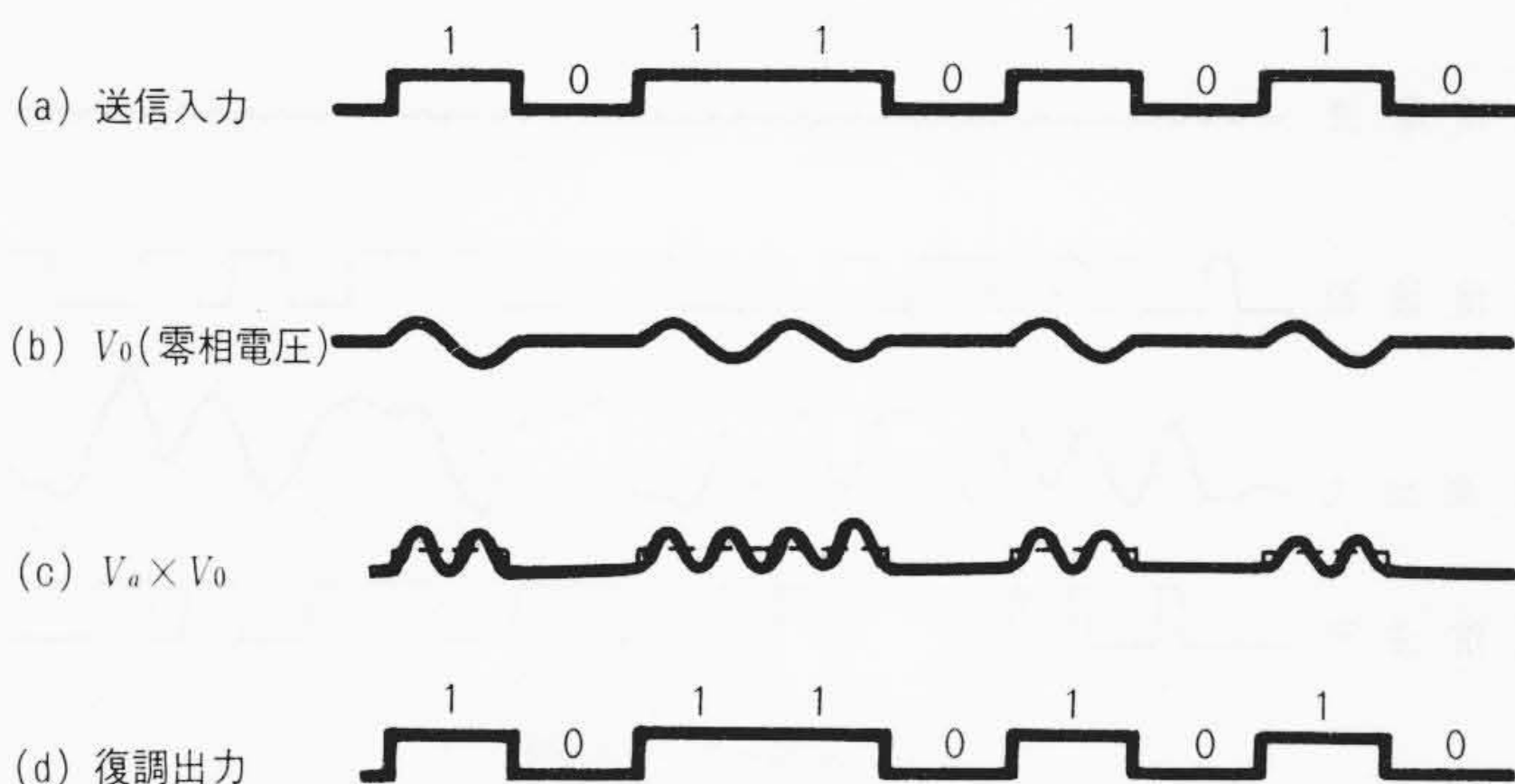
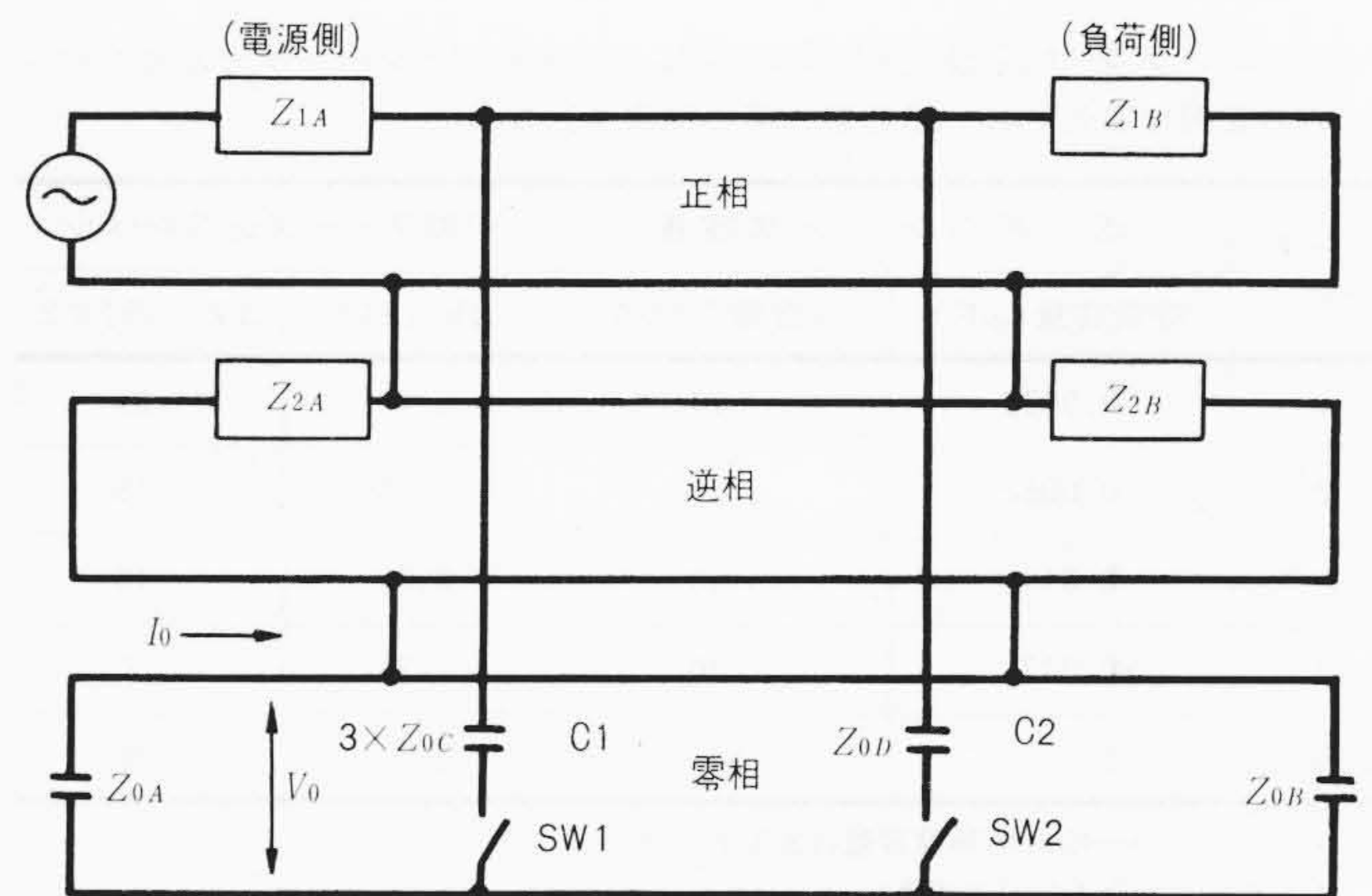


図3 零相キャリア伝送システムの各部波形 零相回路を利用した大地帰路伝送を行ない、更に、受信側で検出した零相電圧と基準電圧の積演算を行なうことによってSN(信号対雑音)比の高い伝送を実現している。



Z_{1A} 、 Z_{1B} 正相インピーダンス
 Z_{2A} 、 Z_{2B} 逆相インピーダンス
 Z_{0A} スイッチから電源側を見た零相インピーダンス
 Z_{0B} スイッチから負荷側を見た零相インピーダンス
 Z_{0C} 親局で接地する零相インピーダンス
 Z_{0D} 子局で接地する零相インピーダンス
 V 接地相、相電圧

図4 対称座標法による等価回路 一つの相と大地間に小容量のコンデンサを入切することによって零相電圧を発生させる。

- (1) 小容量のコンデンサの入切によって搬送波を発生させるので、装置が小形である。
- (2) 零相伝送区間はバンク単位で完全に分離された回路となるので、他系統への信号の回り込みは全くない。このためブロッキング装置を設置する必要がない。
- (3) 零相回路には負荷電流が流れないので負荷電流の変化やひずみ波の影響をほとんど受けない。
- (4) 零相回路に商用周波の電圧を発生させる方式であるので、伝送信号が系統全体に伝わり、部分的な反射や定在波発生の問題が生じない。このため、線路長に関係なく架空系、ケーブル系のいずれにも適用できる。

3.3 零相キャリア伝送システムの特徴

以上述べた零相キャリア伝送システムの性能を実証するため、昭和56年11月沖縄電力株式会社の6.6kV配電線で伝送試験を実施した。以下この結果について述べる。

この実フィールドでの試験は、那覇市内の泊変電所#1バンク及び#2バンクの各母線に親局を接続し、負荷種類の異なる次の二つのフィーダの末端に子局を接続した。フィーダの電圧、バンク容量はいずれも6.6kV、7.5MVAである。

- (1) #1バンク⇄安岡フィーダ(5.8km)：準工業負荷
- (2) #2バンク⇄曙フィーダ(4.1km)：商業兼住宅負荷

両フィーダの試験ではほぼ同様の良い結果が得られているが、ここでは距離の長い安岡フィーダの試験結果を主に報告する。この試験では、入切するコンデンサの容量を変えることによって送信レベルを変化させ、それぞれの送信レベルで伝送誤り率を測定した。

表2に試験ケースを示すが、コンデンサの切替によって、送信レベルを0.1%から3%の範囲で変化させて試験を行っている。なお送信レベルは、変化させる零相電圧 ΔV_0 の配電線相電圧に対するパーセント値で示している。デシベル値は、 ΔV_0 が1%の場合を0dBとして示している。また、安岡フィーダでは常時2.9%程度をピーク値とする残留零相電圧が存在するので、送信レベルの正確な測定は困難であり、同表には

表2 コンデンサ容量と送信レベル 送信用コンデンサの容量を17～540VAの範囲で変化させ、伝送誤り率の測定を行なった。

ケース No.	送信用コンデンサ容量		安岡フィーダ送信レベル	
	静電容量(μF)	消費電力(VA)	ΔV ₀ (%)	ΔV ₀ (dB) #2
1	0.0033	17	0.1	-21
2	0.0052	30	0.16	-16
3	0.01	60	0.3	-10
4	0.043	230	1.3	2
5	0.1	540	3.0	9

注：#1バンクの一括対地静電容量は3.3μFである。
#2 ΔV₀ = 1%を0dBとする。

コンデンサの値から求めた計算値を示している。

図5(a)に送信レベル1.3%の場合(ケース4)の伝送波形例を示す。残留零相電圧が存在するため、送信信号に対する零相電圧の変化はあまり明らかでないが、3.1節で述べた積演算を施し更に平滑回路を通した復調波形は同図中に見られるように非常に良い波形となっている。

図5(b)は送信レベル0.1%のケース1の波形である。零相電圧の変化がほとんど目に見えないにもかかわらず、送信波形に対応した受信波形が得られている。しかし、復調波形から見て伝送限界に近いことが分かる。

図6に送信レベルと伝送誤り率の関係を示す。このデータは午前9時から午後9時まで2日間にわたって測定した結果をまとめたものであるが、上り(子局→親局)、下り(親局→子局)ともほぼ同じ特性が得られている。測定時間が短いために必ずしも十分なデータが得られていないが、零相電圧を0.2～0.3%程度変化させることによって、専用回線を用いる場合と同程度(誤り率10⁻⁴～10⁻⁵)の伝送が可能であることが分かる。この場合、コンデンサ容量は約0.006～0.01μFと小さく、送信電力は約30～50VAにすぎない。

4 低圧配電線利用大地帰路伝送システム

低圧配電線は通常単相回路であるので、零相伝送システムを適用することができない。そこで、数キロヘルツの搬送波

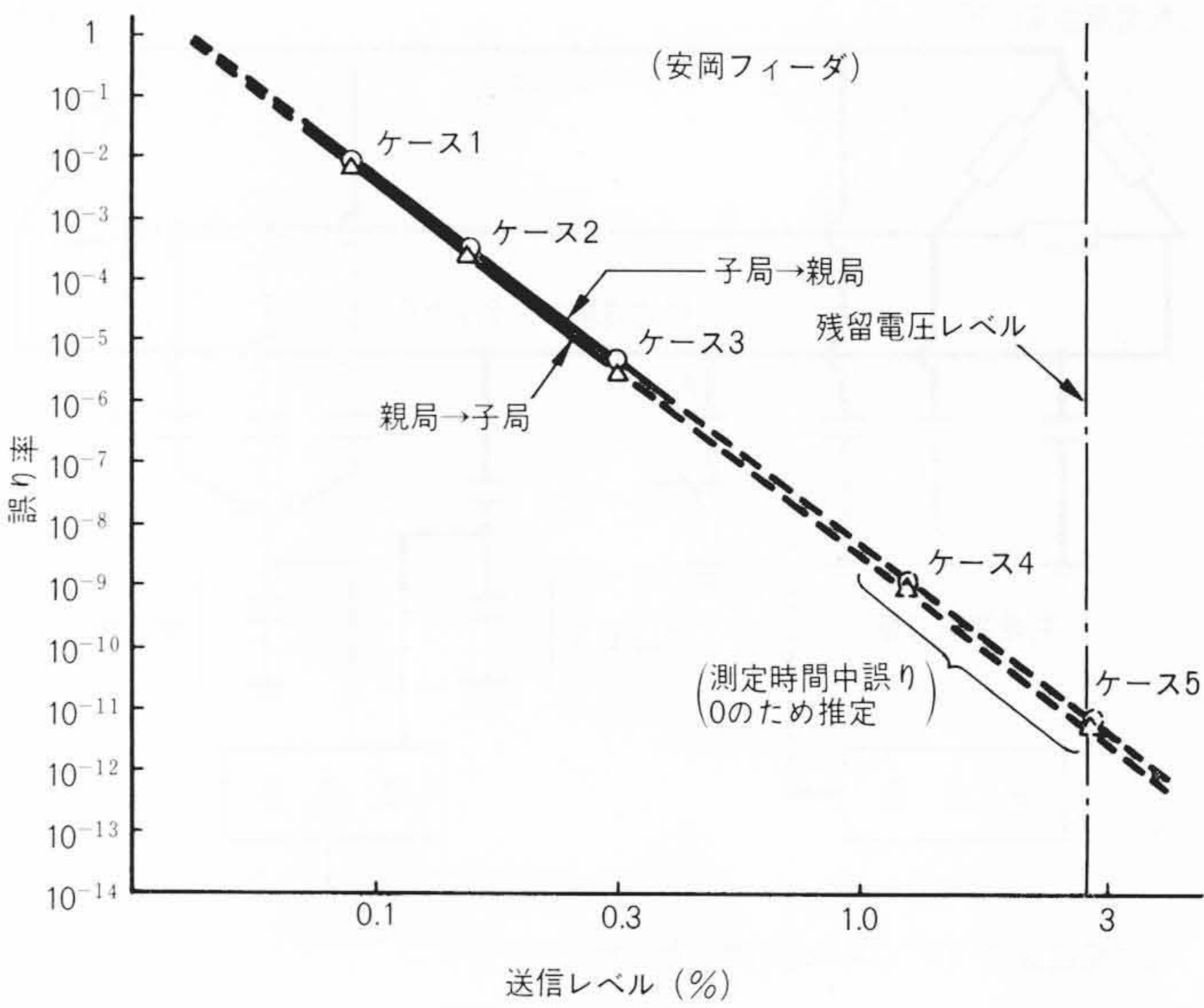


図6 送信例と伝送誤り率の測定結果 上り、下り両方向で同等の伝送信頼性が得られている。また、0.2～0.3%の零相電圧を用いて10⁻⁴～10⁻⁵と専用回線並みの誤り率を達成できることが分かる。

を用い、周波数変移変調方式を採用することによって高信頼度伝送を実現することにした。低圧配電線の亘長はただか数百メートルであるので、数キロヘルツの搬送波を利用できるわけである。また、負荷変動や負荷の発生する雑音の影響を避けるために、大地帰路を用いて伝送を行なう方式とした。

4.1 大地帰路伝送システムの概要

図7に日立製作所が開発した低圧配電線利用情報伝送システムを示す。上り(端末局→子局)、下り(子局→端末局)共に低圧配電線の非接地側線路と大地間で半導体スイッチを入切することによって搬送波を発生させるが、子局側では配電線の接地線に電圧変圧器(PT)を接続することによって、上記の搬送波を配電線の接地側線路に重畳させる。信号の流れる経路は同図中に矢印をもって示している。送受信波形は図8(a)に示すような波形であるが、比較的Qの高いフィルタを通すことによって波高値を平均化することができ、SN比の高い伝送ができる。搬送波周波数は2.4kHz、2.8kHzとした。同図

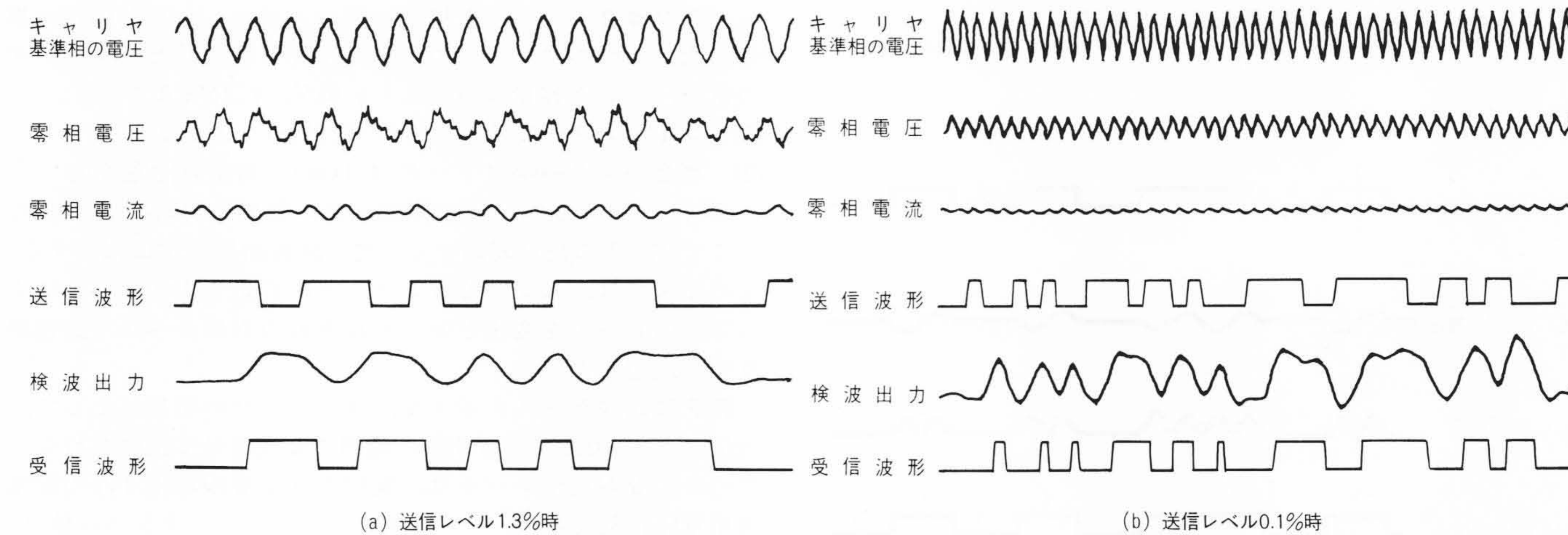
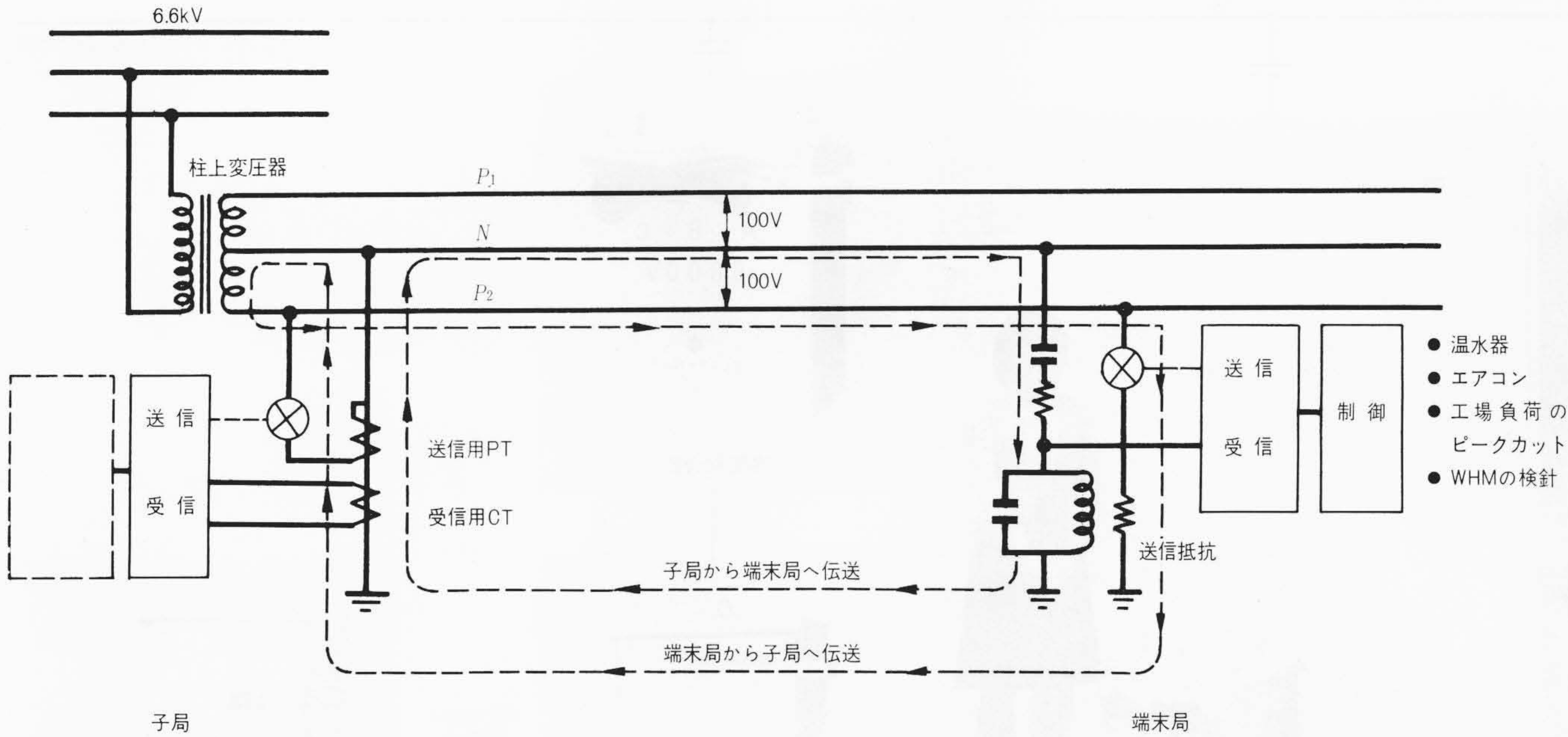
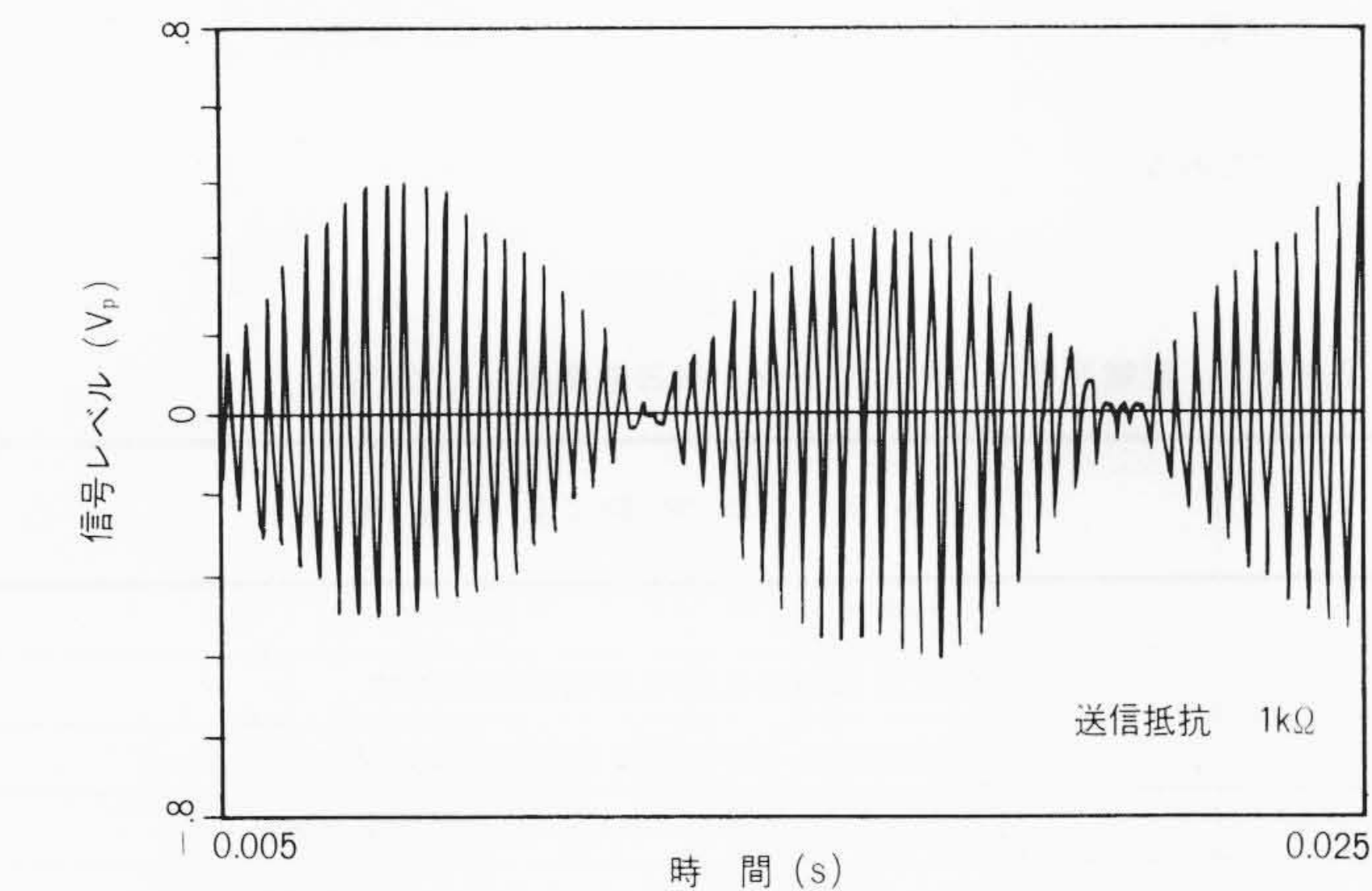


図5 零相キャリア伝送での各部波形実測例 相電圧の0.1%程度の零相電圧を搬送波として用いる場合でも、条件が良ければ安定な伝送が可能である。

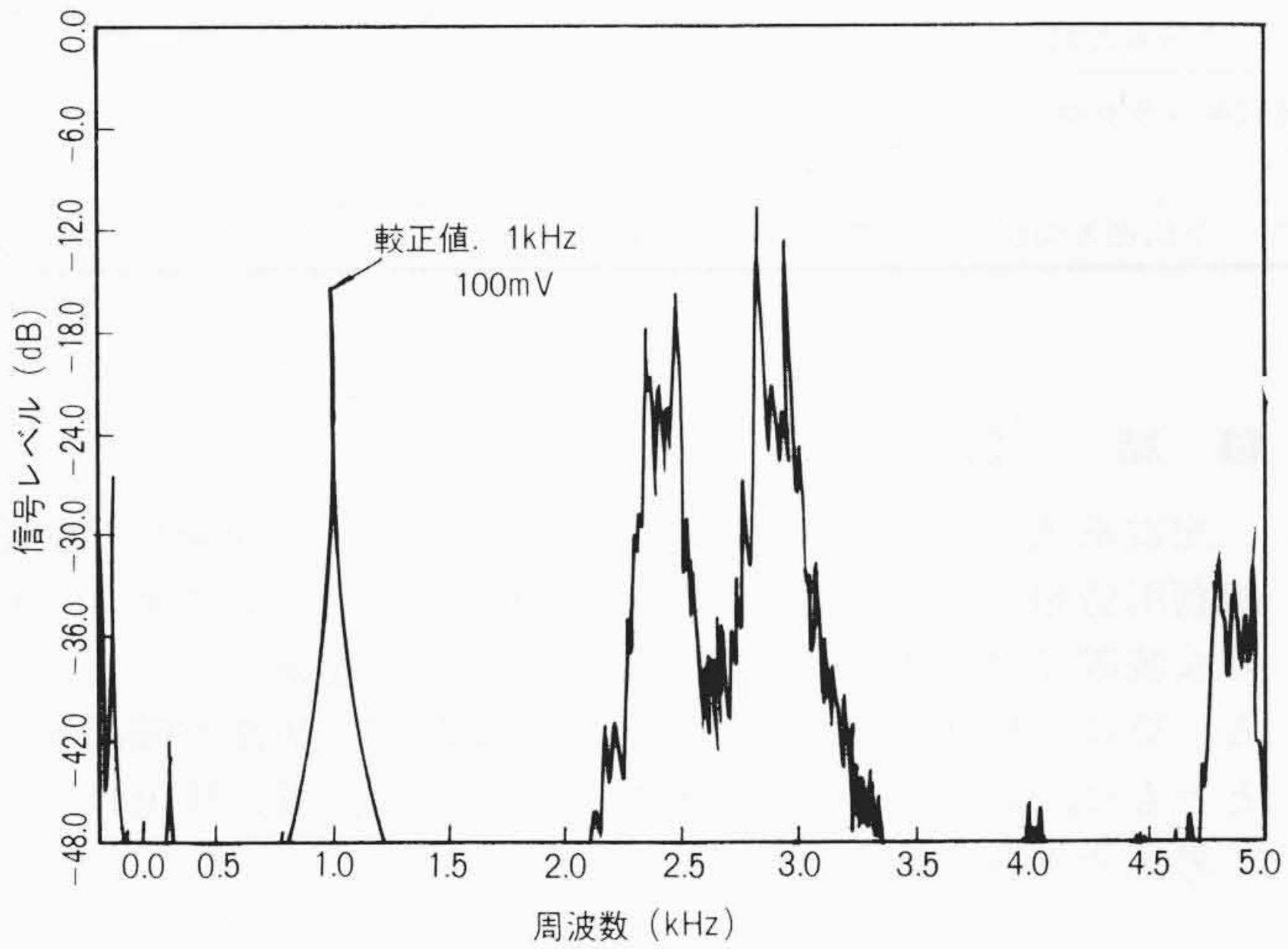


注：略語説明 PT(電圧変成器)，CT(電流変成器)

図 7 低圧配電線利用情報伝送システムの構成 大地帰路を用いた伝送を行なうことにより高いSN比が得られる。



(a) 子局受信波形



(b) 子局受信波形の周波数スペクトラム

図 8 低圧配電線伝送特性試験データ 配電線の電力をそのまま電源として利用し、図のような波形の搬送波を用いて伝送を行なう。周波数スペクトラムを見ると2.4/2.88kHzにピークがあり、周波数変移変調が行なわれていることが分かる。

(b)に(a)の波形のパワースペクトル図を示す。これにより周波数変移伝送の様子が分かる。

4.2 大地帰路伝送システムの特徴

- このシステムの特長をまとめると次のとおりである。
- (1) 配電線の増改設に対し付随工事が不要である。
 - (2) 原理上传送区域が柱上変圧器二次系に限定できる。
 - (3) 線間に流れる負荷変動電流や負荷の発生する雑音の影響を受けないので伝送電力を小さくできる。
 - (4) 伝送電力を系統から直接得るため、装置を小形にできる。

4.3 大地帰路伝送システムの特性

以上述べた低圧配電線利用伝送システムの性能を検証するため、九州電力株式会社の実フィールドで試験を実施した。以下この結果について述べる。

まず実フィールドでの雑音レベルを測定し、必要な信号レベルを決定した。このシステムでは周波数変移変調方式を採用しているので、SN比を20dB程度とれば誤り率 10^{-4} 以下という目標を十分達成できる。表3に端末局→子局の伝送を例にとって結果として得られたSN比を示す。ここでは端末局側で入切する抵抗器の値を1kΩとしており、搬送波として流れる電流は100mAである。各所の柱上変圧器に子局を設け、

表 3 低圧配電線利用伝送システムのSN比 1kΩの抵抗を入切することによって、約20dBのSN比が得られる。

測定地点	供給変電所	雑音レベル* (mV _{p-p})	SN比
B	SS I (住宅地)	55	26.7
C	SS I (")	30	32.0
D	SS 2 (工業地)	23	34.3
E	SS 3 (商業地)	34	30.9
F	SS 3 (")	66	25.1
G	SS 3 (")	160	17.5

注：* 端末局からの送信停止時に子局受信コイルに発生する電圧

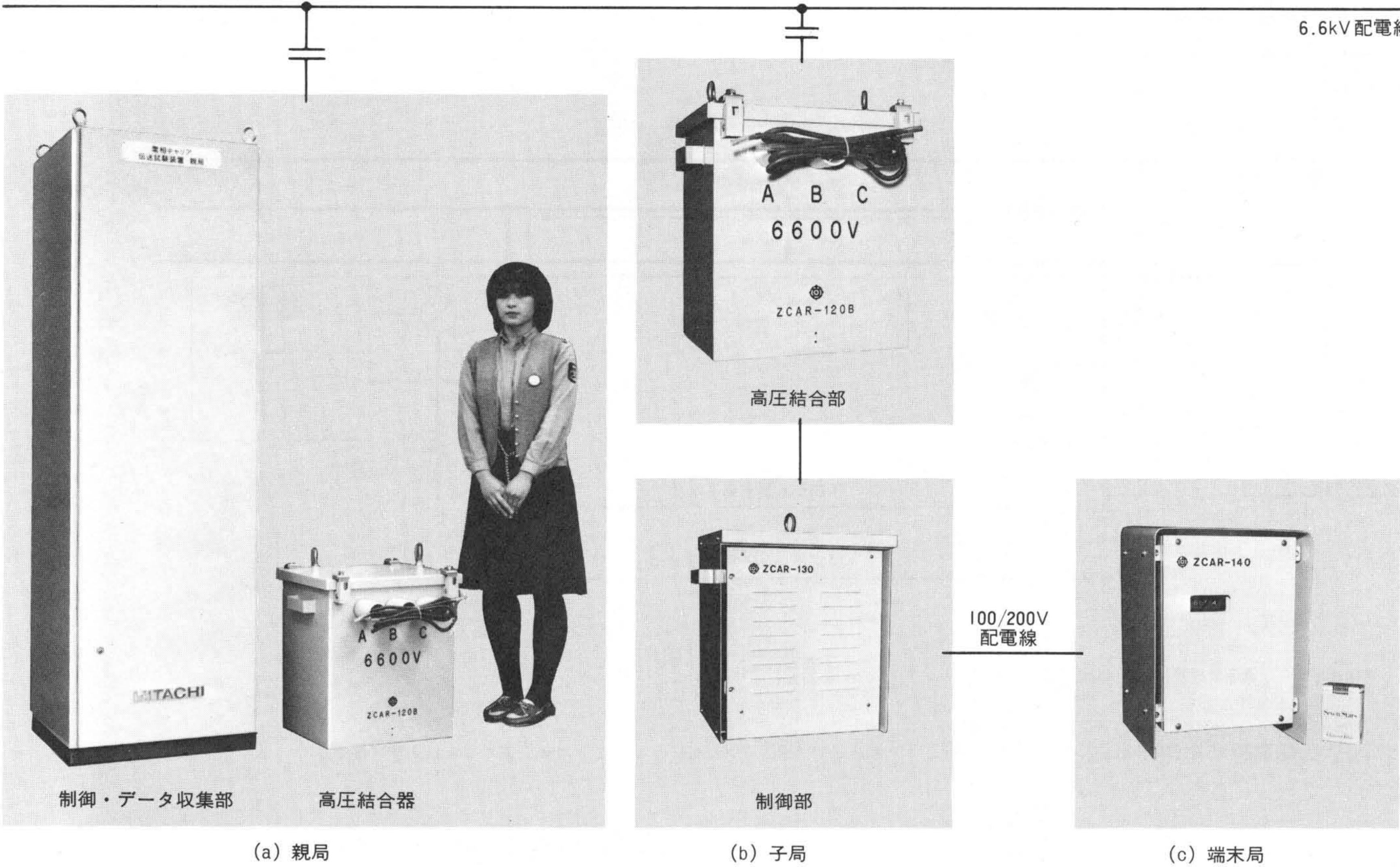


図9 試作装置の外観 この試作装置を実系統に設置して、長期試験を行なう予定である。

表4 配電線利用情報伝送システム仕様一覧 高圧側、低圧側いずれの伝送でも、配電自動化に対して十分な伝送速度をもっている。

通信局 項目	親局 ↔ 子局 (高圧配電線)	子局 ↔ 端末局 (低圧配電線)
伝送路	零相回路	大地帰路
搬送波送出方式	系統電源利用零相電圧制御方式	系統電源利用大地帰路電流制御方式
搬送波周波数	50Hz又は60Hz	2,000Hz/2,400Hz又は2,400Hz/2,880Hz
変調方式	振幅変調(AM)方式(商用周波同期)	周波数変移変調(FSK)方式(商用周波同期)
復調方式	周期検波方式	PLL (Phase Lock Loop) による周波数検出方式
伝送速度(ボー)	50/60	100/120
符号方式	定マーク符号方式(8C4)	
フレーム構成	基本構成：同期信号＋識別キャラクタ＋情報キャラクタ (制御内容に対応する可変フレーム長構成)	
誤り検定方式	(1) 定マーク検定, (2) 反転連送照合検定, (3) 上下伝送方向検定, (4) 伝送キャラクタ位置検定	

受信用のCT(電流変成器)の二次側でSN比を測定した結果が同表中に記されているが、いずれも20dB程度の値が得られている。

5 試作装置とその波及効果

以上述べてきた高圧系及び低圧系の各種データをもとに、実フィールドでの長期荷電試験に供する試作装置を完成した。図9にその外観を、表4にその仕様を示す。

本装置は九州電力株式会社の変電所及びフィーダに設置し、信頼性の検証とフィールドでの問題点の把握を行なう予定である。

なお本装置の完成によって、表1に示した配電自動化のすべての項目が実現可能となり、これまで技術的課題とされていた諸問題が解決できるものと期待している。

6 結 言

配電系統自動化システムへの適用を目指して開発した配電線利用情報伝送システムについて紹介した。本システムは安価な装置で専用線並みの高い伝送信頼度を達成するものである。更に、長期のフィールド試験によって信頼性を確認するとともに、いっそうの小形化を図り、実用装置に仕上げてゆく考えである。

参考文献

1) 配電自動化方式専門委員会：配電自動化方式，電気協同研究 36-5 (昭55-12)
2) 石川，外：配電自動化のための零相キャリア伝送方式，57年度電気学会全国大会予稿，1113