

列車位置検知用交差誘導線

Inductive Wire for Vehicle Location Detector

新しい高速輸送手段としてリニアモータ列車の実験が進められているが、この列車の同期運転を効率良く、かつ高速で行なうためには高精度の列車位置検知システムが必要である。

この位置検知用として長さ方向に高精度な多対交差誘導線が必要となり、現地作業の省力化などを考慮すると多対の誘導線を一つのケーブル内に収容することが有利となる。

このケーブル化の際、適度な可とう性をもち、かつ長さ方向の高精度化を実現させるため、温度伸縮の少ない基板をケーブル心に採用した。これによって、多対交差誘導線をケーブル化した特殊平形ケーブルを開発したので、その結果について述べる。

佐々木敏明* *Sasaki Toshiaki*
 青野達雄** *Aono Tatsuo*
 宇野女文一郎*** *Unome Bun'ichirô*
 今井光雄**** *Imai Mitsuo*

1 緒 言

超高速、低公害の新しい輸送手段として、リニアモータ列車(磁気浮上式鉄道)が注目されている。リニアモータ列車は、従来の軌道式鉄道のような軌道と車輪、あるいはき電線とパンタグラフの接触がないため、振動や騒音が少なく、かつ軌道式では限界と言われている300km/hを大幅に上回る500km/hの高速運転が可能と考えられている¹⁾。現在、日本国有鉄道では宮崎県でLSM(Linear Synchronous Motor:リニアシンクロナスマータ)方式による全長7kmの実験線を建設し、500km/hを目標としたリニアモータ列車の本格的実験を開始している。

このLSM方式の運転及び保安システム構成上の重要なポイントの一つは、列車の位置検知である。従来の鉄道での位置検知は、列車相互の安全を確保するためのものが主であるが、LSM方式の場合はその他に次のような位置検知の要求がある。

- (1) リニアモータの効率を良くするため、列車付近の地上コイルにだけ電流を流すき電区分スイッチを制御するための位置検知。
- (2) 列車速度に同期した電流を地上コイルに流して、リニアモータの同期運転を可能にするための位置検知。

このうち(1)の位置検知に誘導無線方式を採用することが日本国有鉄道から提案され、地上側誘導線に示された要求項目は次のものであった²⁾。

- (1) 地上推進コイルと誘導線の相対位置の誤差は、±10cm以内(したがって、誘導線をケーブル化した場合、長さ方向の寸法精度は、ケーブル1条を120mとして±10cm/120m、すなわち±0.085%となる)。
- (2) 位置検知信号を得るため、誘導線は所定の位置で交差する。
- (3) 誘導線対数は6対

これに対し当初は、寸法精度の点から現地で地上コイルと位置を合わせながら所定の誘導ループを組み立てる案が考えられた。しかし、この誘導線6対を一つのケーブル内に収容できれば、現地作業の省力化などで非常に利点が大いと考え、ケーブル化の開発を行なった。

2 交差誘導線による位置検知の概要

2.1 位置検知システムの構成

交差誘導線を用いた位置検知の概要を図1に示す。リニア

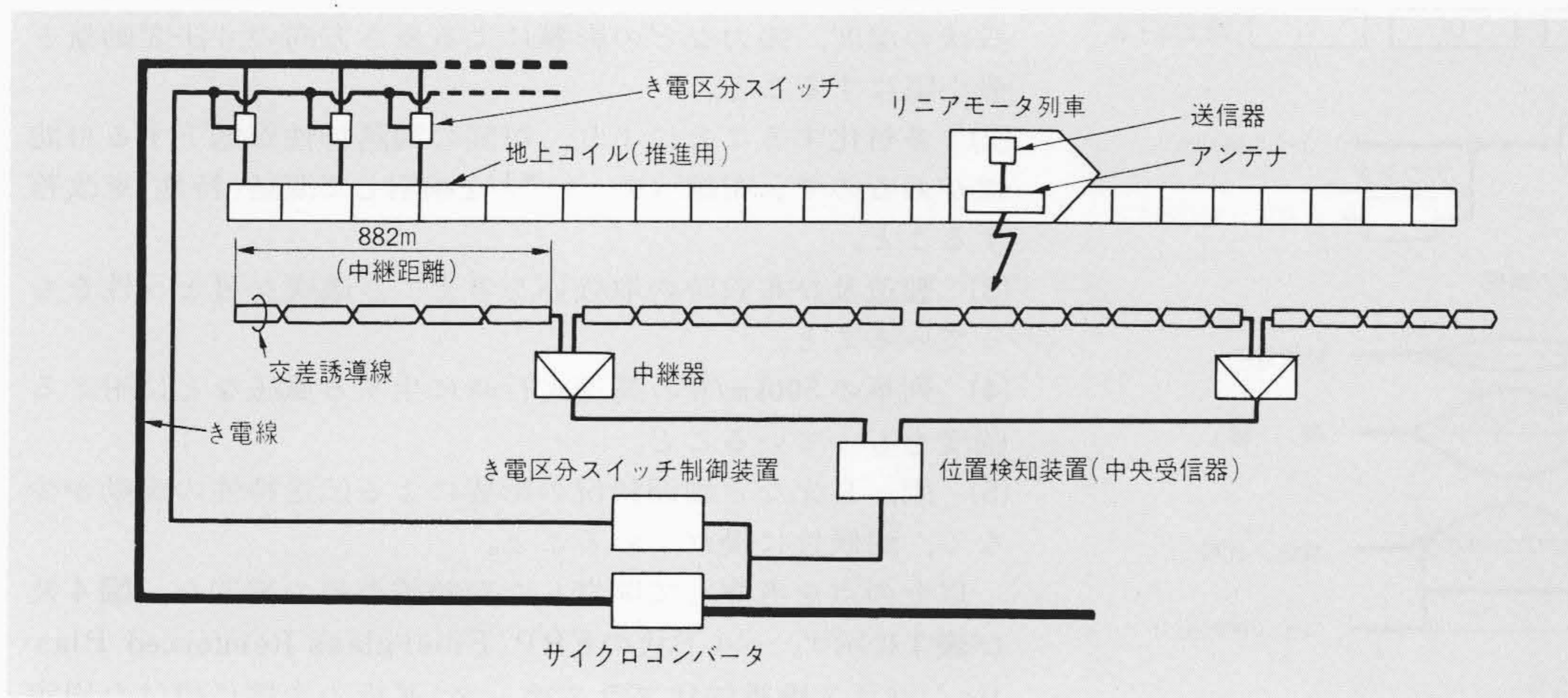


図1 交差誘導線による位置検知システム アンテナから送信された信号は、交差誘導線、中継器を経て中央受信器に伝送され、ここで列車位置検知が行なわれる。

* 日本国有鉄道鉄道技術研究所 ** 日本国有鉄道門司電気工事局 *** 日立電線株式会社日高工場 **** 日立電線株式会社電線研究所

モータ列車軌道に沿って、交差誘導線を地上推進コイルと一定の相対位置関係になるように布設・固定する。車上アンテナから送信される180kHzの信号はこの交差誘導線により受信され、中継器を経由して位置検知装置に導かれ処理される。列車位置及び速度はこの装置内で検知され、その情報に基づいて地上コイル電流が制御される。車上アンテナと交差誘導線の位置関係を図2に示す。

2.2 位置検知の原理

位置検知の原理を図3に、交差誘導線の構成を図4及び表1に示す。交差誘導線の内部には、対よりされた誘導線対(6対)が収容されており、各誘導線対には車上からの信号を受信するためのループ部分(対よりを広げた部分)が設けられている。このループ部分は、推進用地上コイルと一定の相対位置

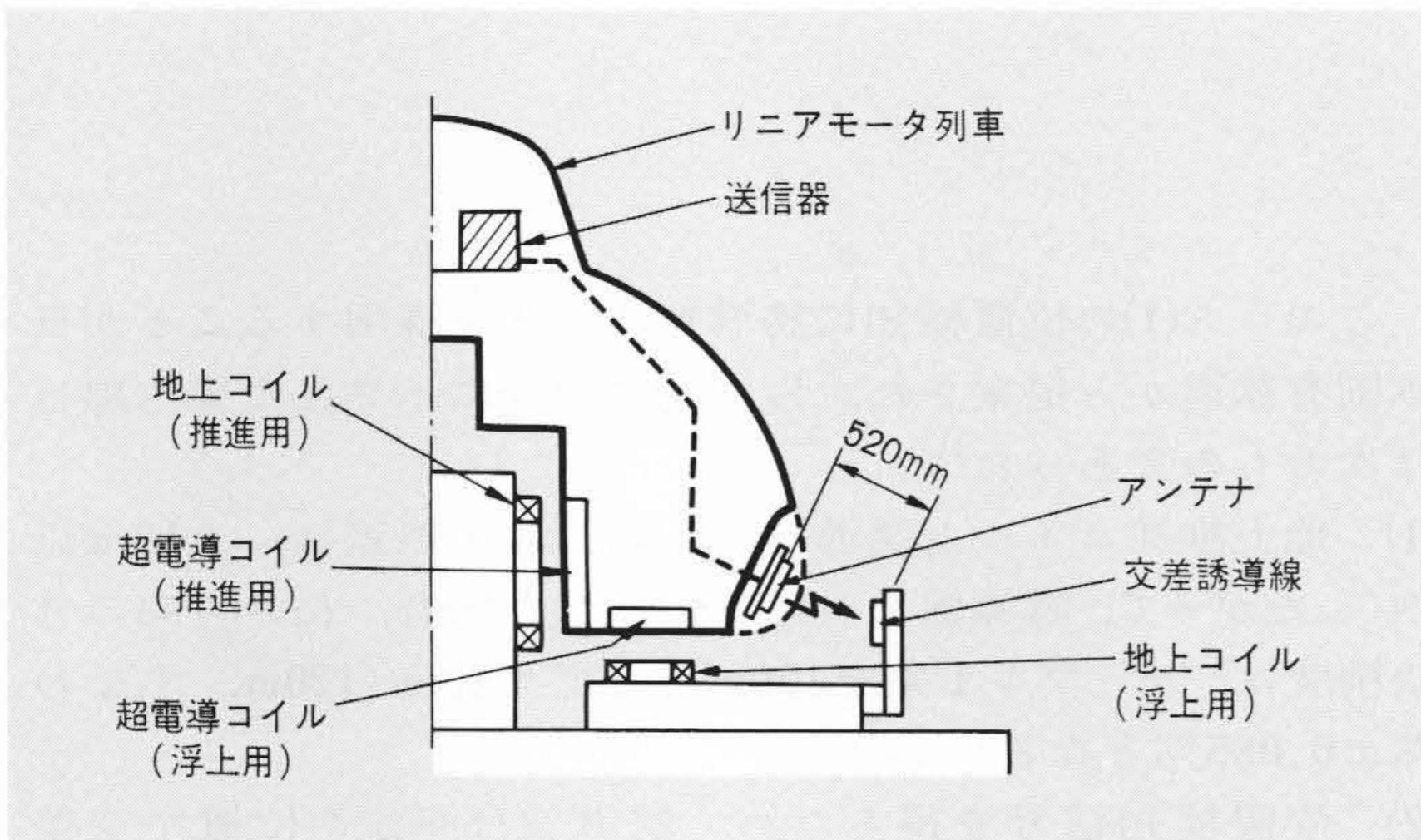


図2 交差誘導線布設位置 アンテナと交差誘導線の間隔は、520mmである。

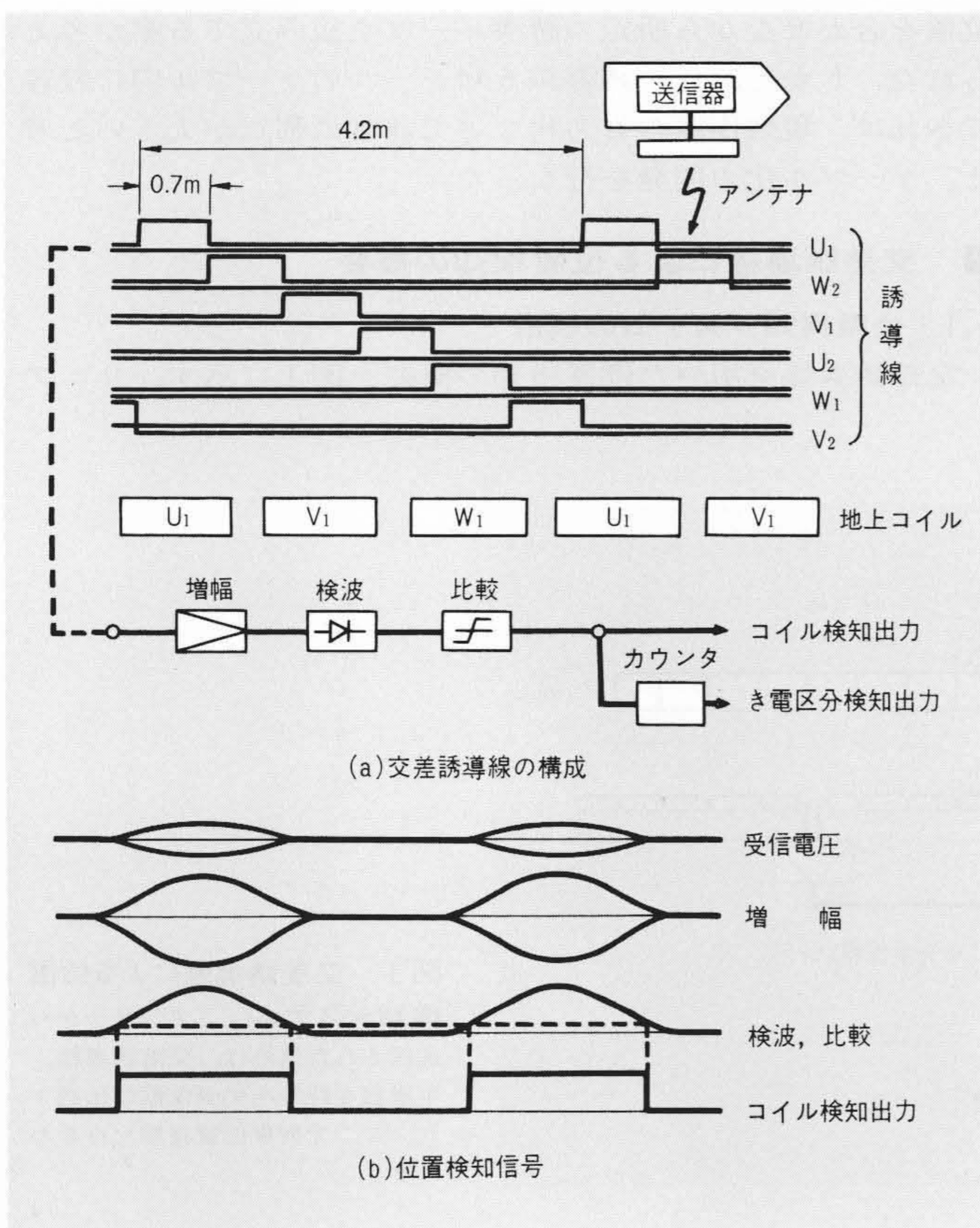


図3 交差誘導線による位置検知の原理 交差誘導線に受信された信号を増幅、検波した後、比較器を通して位置検知信号を得る。

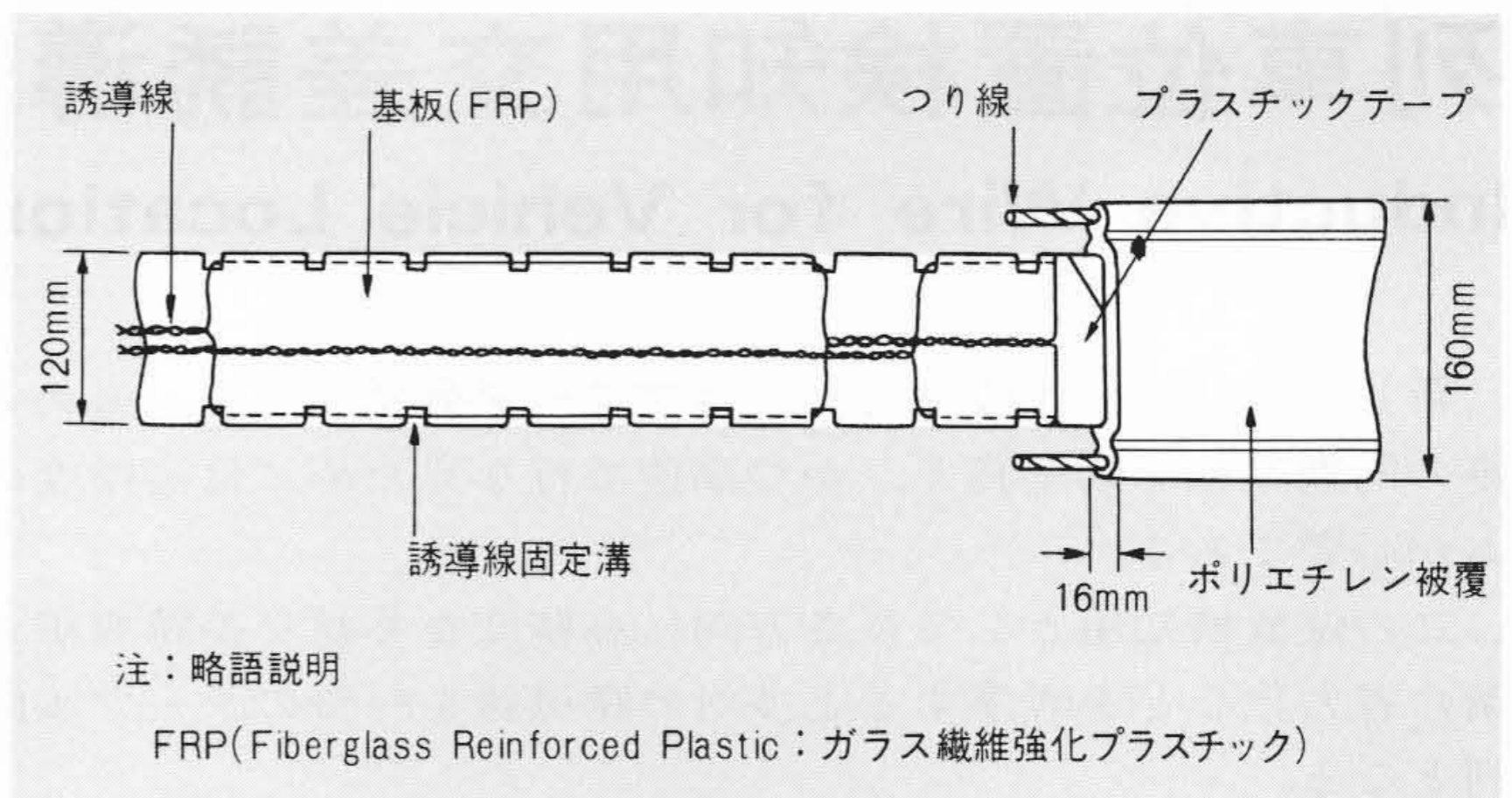


図4 交差誘導線の構造 一つの基板上に誘導線6対を所定のパターンで固定し、一体化被覆が施されている。

表1 交差誘導線の構造 厚さ16mm、幅160mm、重量2.3kg/m程度である。

誘導線	導体	スズめっき軟銅より線 公称断面積：0.9mm ²
	絶縁体	ポリオレフィン
基板	FRP 厚さ×幅：2mm×120mm	
押え巻	プラスチックテープ	
つり線	2.9mm亜鉛めっき鋼線7本より	
被覆	黒色ポリエチレン 厚さ：約3mm	
重量	約2.3kg/m	

を保つように設けられているので、各誘導線対で受信された信号を処理することにより、列車がどの地上コイルを通過したかを知ることができる。

3 交差誘導線の開発

3.1 ケーブル化の条件

交差誘導線を多対化することは、それだけ位置検知系の信頼性を増すことであり、また各種の位置検知出力を同時に得ようとする場合にも多対化が必要である。しかし、誘導線の対数が増えるに伴い、各誘導線を別々に布設するのは実用的でなくなる。そこで、多対の誘導線を一つの共通基板上に所定のパターンに配置し被覆を施す。すなわちケーブル化することが一つの解決策となる。

ここでケーブル化に際しては次の事項が必要となる。

- (1) 誘導線のループは、地上コイルと寸法的に常に一定の位置関係を保持する必要があるため、交差誘導線製造中及び布設後の温度、張力などの影響による長さ方向の寸法変動量を最小限にすること。
- (2) 多対化することにより、対間の漏話特性が低下する可能性があるため、布線パターン※1を検討して漏話(特性)を改善すること。
- (3) 製造及び布設時の取扱いを考慮して、適度な可とう性をもっていること。
- (4) 列車の500km/hの高速走行時に生ずる風圧などに耐える強度をもっていること。
- (5) 雨、日光など周囲状況の影響による伝送特性の変動が少なく、耐候性に優れていること。

以上の点を考慮して開発した交差誘導線の構造を、図4及び表1に示す。ベルト状のFRP(Fiberglass Reinforced Plastic: ガラス繊維強化プラスチック)基板の両側に設けた固定

※1) 基板上に誘導線を配置する場合の配置形状。

溝を利用して、あらかじめ対よりした誘導線を所定の位置でループ状に開き固定する。更に、この基板の両側にケーブルを架設するためのつり線を配置して、基板とともにポリエチレンを被覆して一体化する。この交差誘導線をケーブル化した特殊平形ケーブルをパターンベルトと略称する(以下、単にケーブルと略す)。

3.2 基板材料の検討

列車の検知誤差は±10cm以下とするのが望ましいので、ケーブル1条の長さ方向の伸縮量も±10cm以下にする必要がある(ケーブルの片端を固定し、逆側の末端での誤差が±10cm, 以内)。宮崎実験線の場合輸送、布設などを考慮してケーブル1条を120mとしたので、許容伸縮量は±10cm/120mとなった。したがって、±0.085%と非常に厳しい値である。この寸法精度を実現させるためには、基板材料の選定が最も重要であり、温度、張力などによる伸縮が少なく、かつ適度な可とう性をもった基板を選定する必要がある。

これらの条件を満足させるため種々の材料を検討した結果、FRPの基板が最適であることが分かった。表2に、FRP基板の線膨張係数とヤング率及びケーブル化したときの精度を、高密度ポリエチレン基板の場合と比較して示す。同表からFRP基板を使用したケーブルは、要求精度を十分満たしていることが分かる。

3.3 漏話特性の検討

多対交差誘導線を長距離で使用する場合、誘導線対間の漏話が問題となる。そこで、誘導線布線パターンと漏話との関係を検討した。当初、提案された布線パターンは図5(a)であった。このときの漏話の主な要因と、その改善策を表3に、改善後の布線パターンを図5(b)に示す。表3に示す改善策によって漏話特性は、図6に示すように70m当たり約17dB(周

表3 漏話の要因と改善策 パターン(I)の漏話の要因を改善した。

項	パターン(I)の主な漏話要因	漏話要因の改善策
A	隣接したループ間の結合	ループ長を短くして隣接ループとの間を離す。
B	ループと渡り線間の結合	渡り線の部分をより合わせる。
C	渡り線相互間の結合	より合わせピッチを異ならせる。

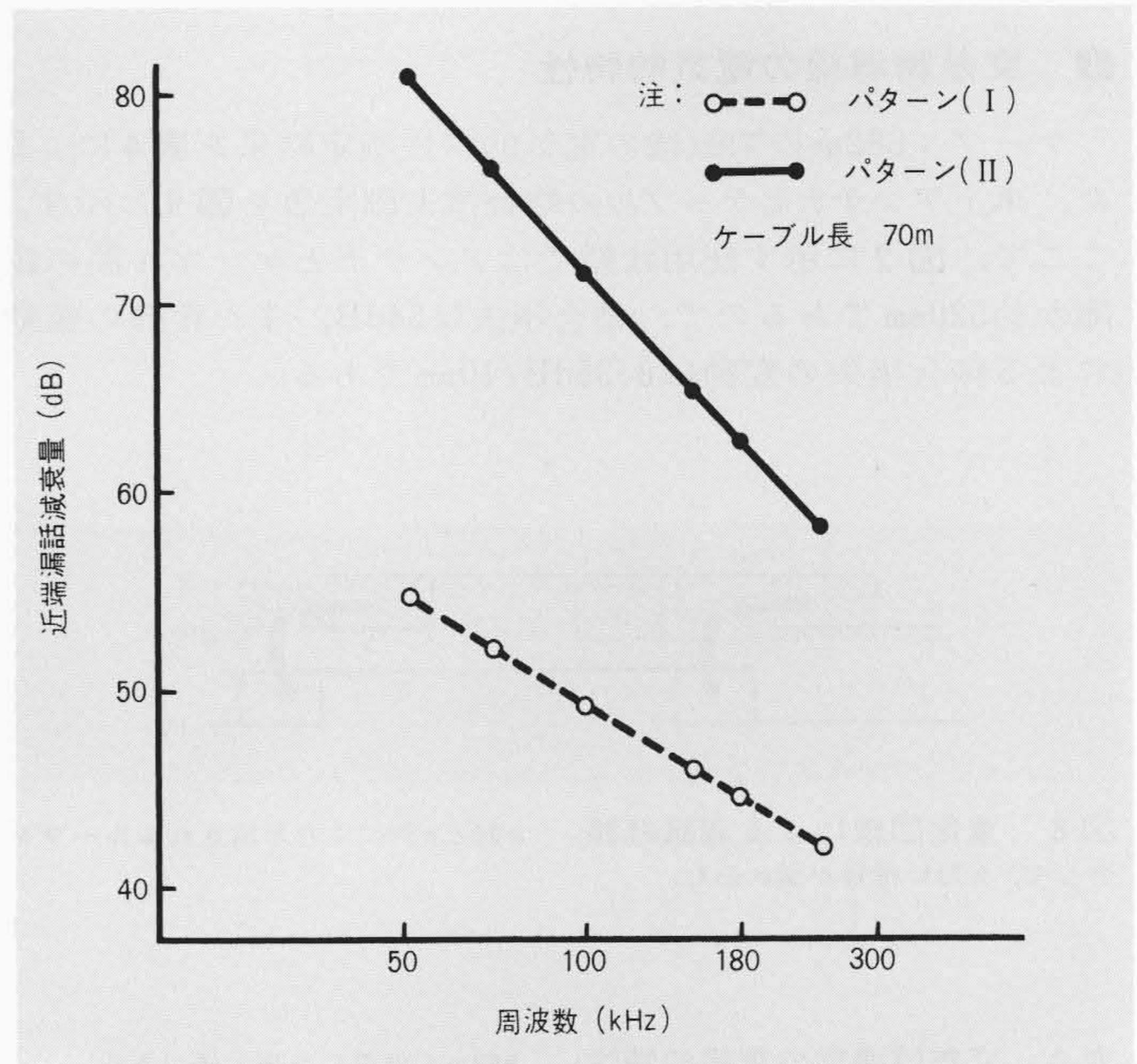


図6 漏話特性(1) パターン(II)にすることによって約17dB改善された(周波数180kHz)。

表2 基板材料の特性 FRP基板は熱、張力などによる伸縮が少ない。

材 料	寸法(mm) 厚さ×幅	線膨張係数 (1/°C)	ヤング率(kg/mm ²)			ケーブル化したときの寸法精度(%)
			15°C	60°C	110°C	
FRP	2×120	0.8×10 ⁻⁵	840	—	600	0.025
高密度 ポリエチレン	3×120	17×10 ⁻⁵	49	14.3	8.9	0.48

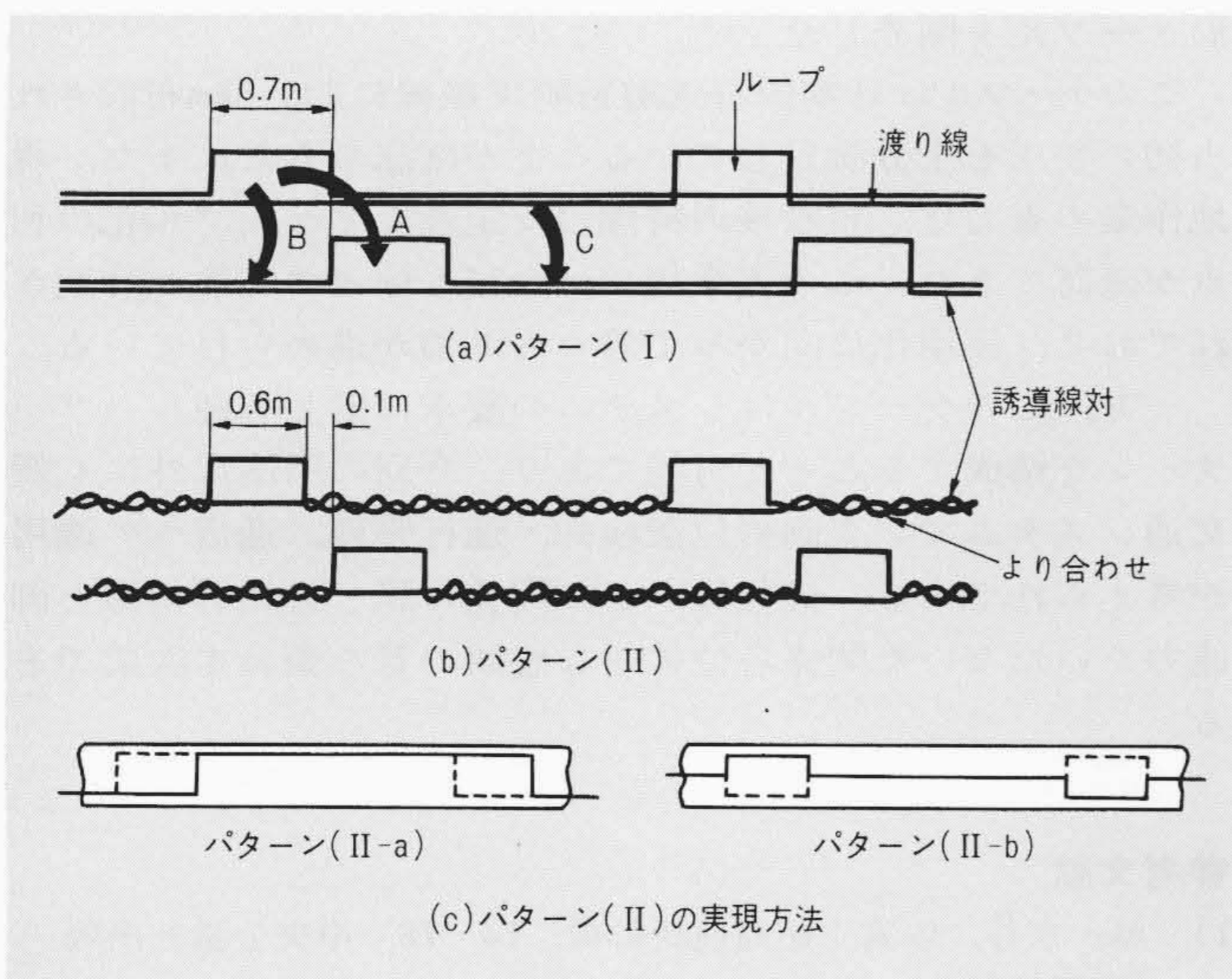


図5 誘導線の布線パターン 漏話特性を向上させるため、パターン(II-b)を採用した。

波数180kHz)改善された。次に、より合わされた誘導線をパターン(II)のように基板上に布線する方式としては、図5(c)に示すパターン(II-a), (II-b)が考えられる。この布線パターンの漏話特性を図7に示す。ここで、漏話減衰量の要求値は25dB/km以上(周波数180kHz)であるので、漏話の長さ特性が20log l(l: ケーブル長)の傾向で悪化すると想定すれば70m

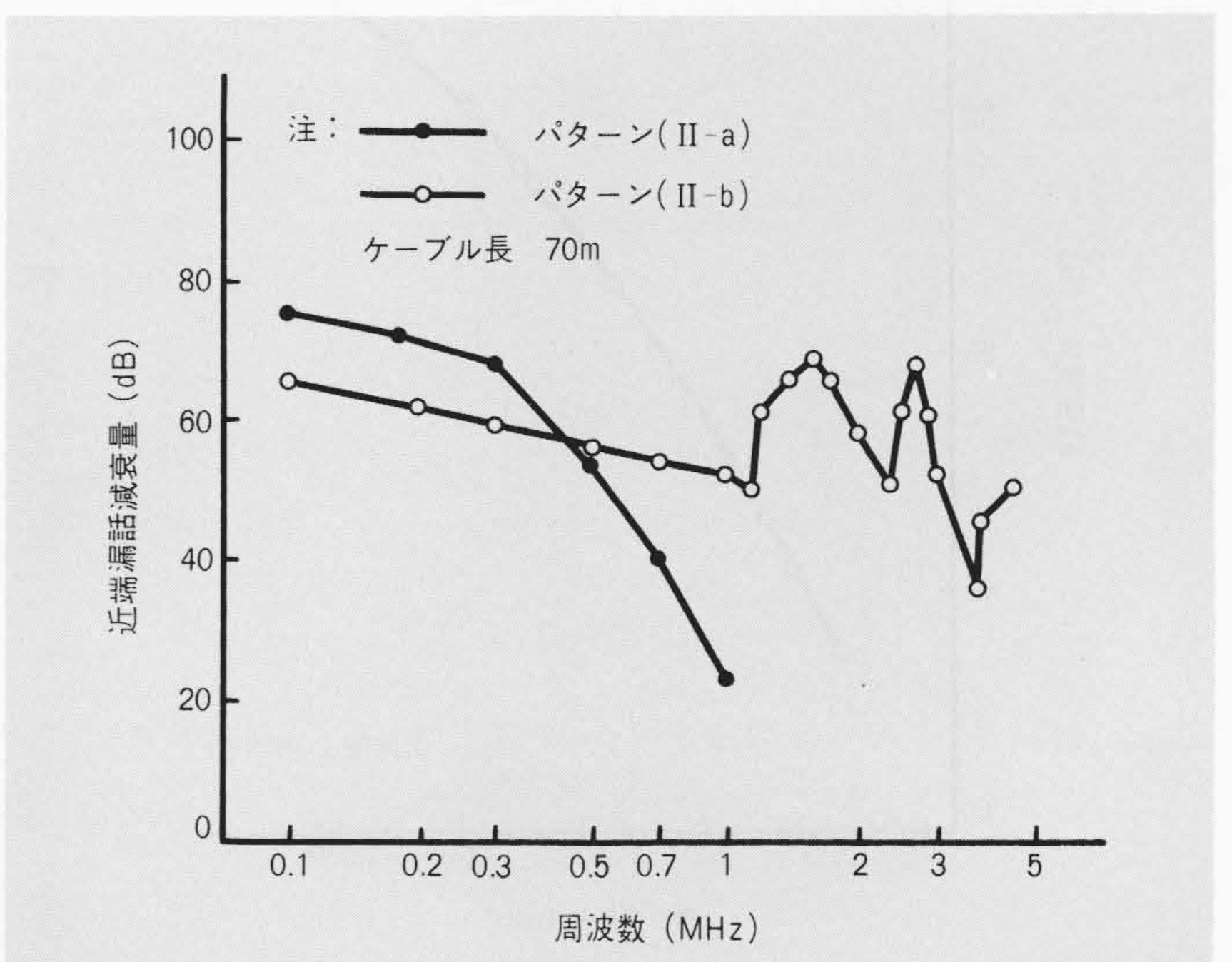


図7 漏話特性(2) パターン(II-a)は、周波数とともに急激に悪化している。

当たり49dB以上必要となるが、いずれのパターンもこの要求は満足している。しかし、パターン(II-a)では周波数とともに急激に悪化しており、ケーブルの長尺化による漏話の悪化も大きいと想定される。これは、**図8**に斜線で示すようにa対とc対の重信回線による新たなループが形成され、このループを介してa対からb対への漏話があり、これが原因と考えられる。このため重信回線によって、ループを形成しないパターン(II-b)を採用した。

4 交差誘導線の電気的特性

ケーブル882mの架設後の電気的特性測定結果を**表4**に、また、車上アンテナとケーブルの結合損失測定値を**図9**に示す。ここで、**図2**に示す使用状態ではアンテナとケーブル間の距離が約520mmであるので、結合損失は54dB、また距離の変動による結合損失の変動は0.35dB/10mmである。

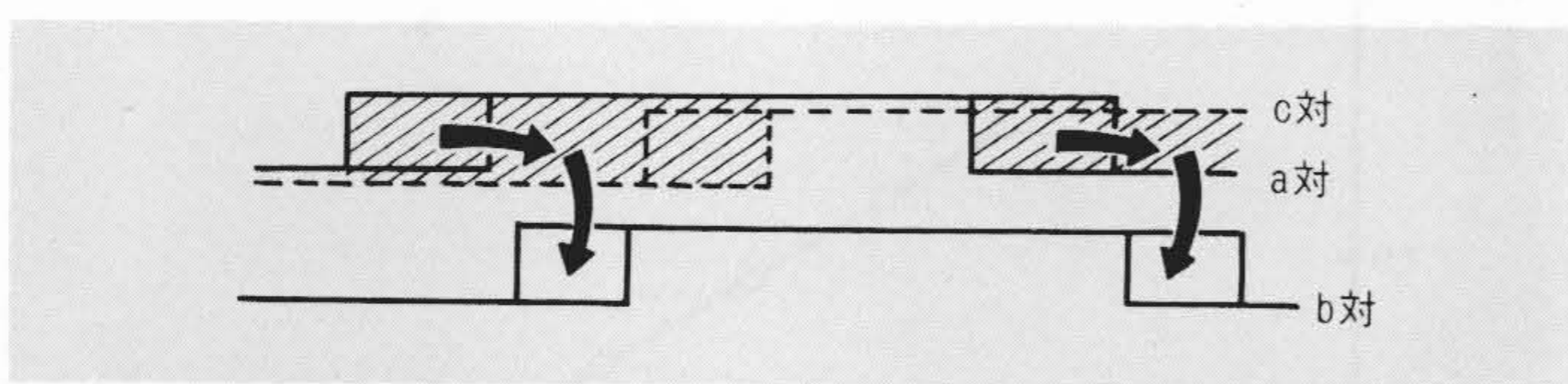


図8 重信回線による漏話経路 a対とc対により形成されるループを介して、b対に信号が漏れ込む。

表4 交差誘導線の電気的特性 882mを架設した後の値である。

項目	測定値
減衰量	3.6dB/km
特性インピーダンス	約170Ω
漏話減衰量	近端 43dB/km以上
	遠端 44dB/km以上

注：周波数 180kHz

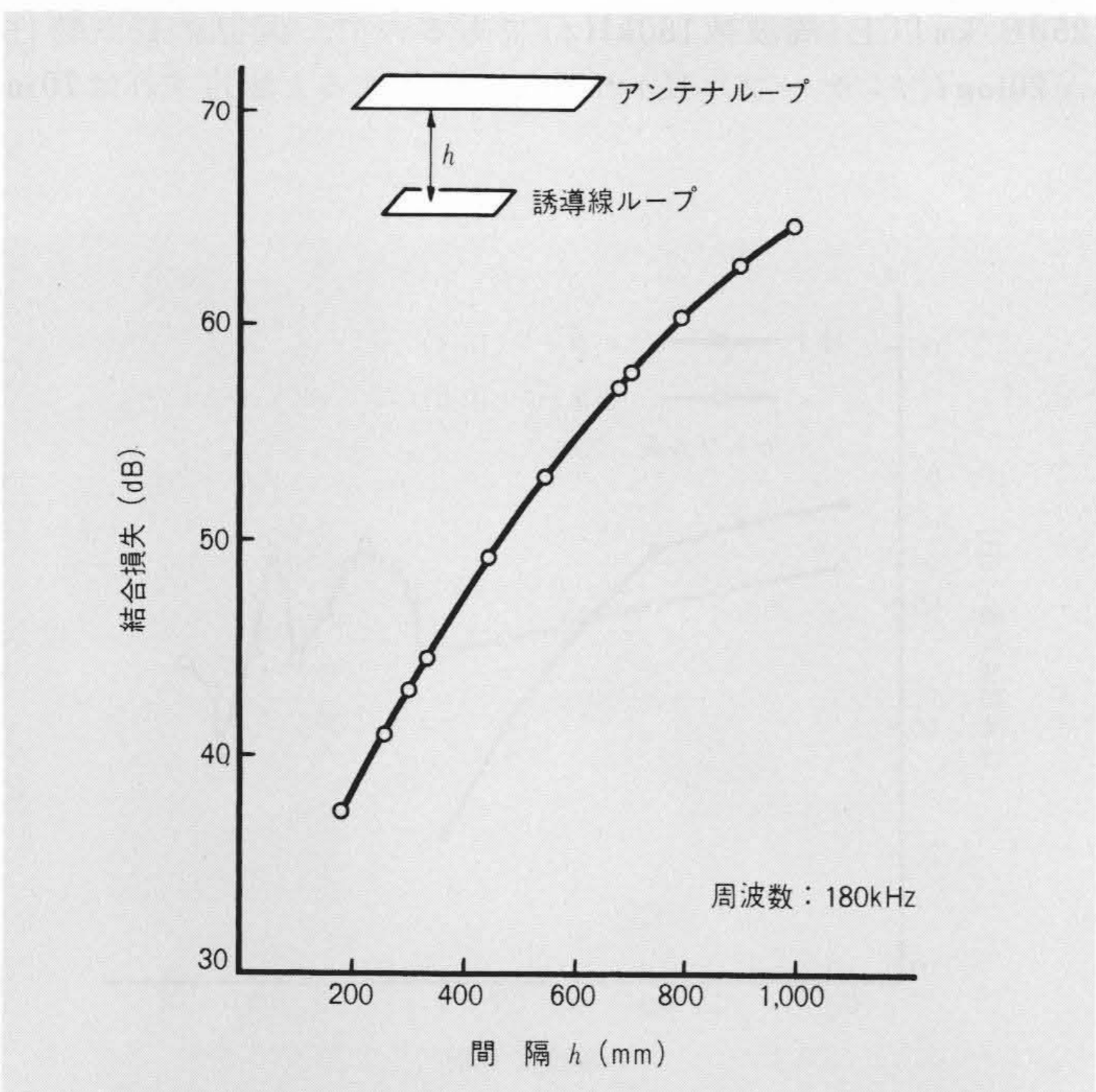


図9 結合損失(アンテナ~交差誘導線) **図2**の使用状態の結合損失は54dB、また距離変動による結合損失の変動は0.35dB/10mmである。

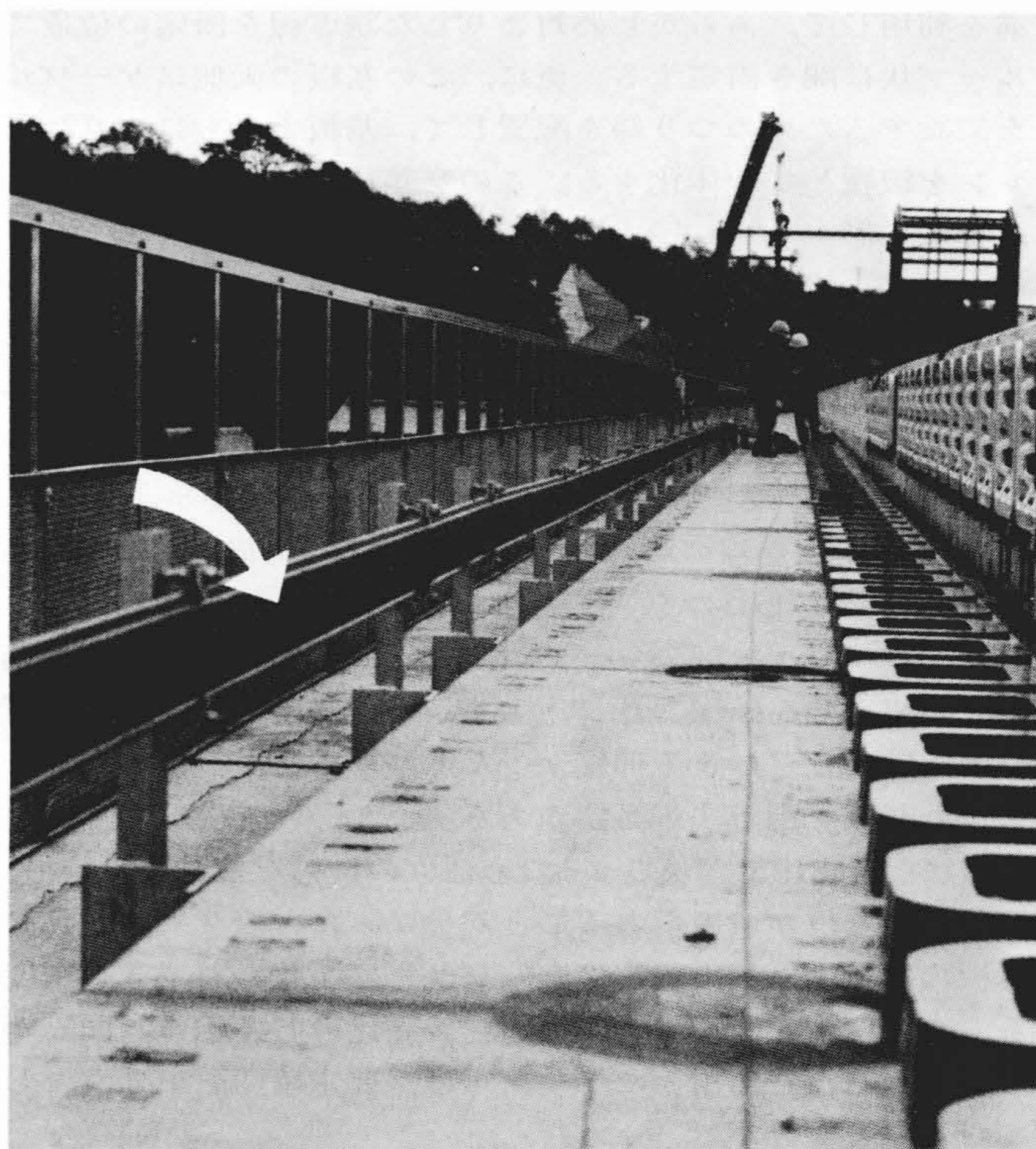


図10 交差誘導線の架設状況 推進用地上コイルと相対位置を合わせて架設される(矢印が架設された交差誘導線)。

5 交差誘導線の架設

交差誘導線を可とう性をもつケーブルとしたことにより、他の方式(例えば、6対の誘導線を現地で組み立てる方式など)に比較して現地布設作業などが大幅に省力化された。

また、ケーブルと地上コイルの位置合せは、ケーブル製造時に特定対のループ位置を示すマークをケーブル被覆上に付けておき、このマークを地上コイルの位置に合わせ、つり線に張力を加えて架設する。**図10**に架設後の状況を示す。

6 結 言

温度伸縮が少なく、かつ適度な可とう性をもつ基板を採用することによって、多対交差誘導線をケーブル化した特殊平行ケーブルを開発した。

このケーブルは日本国有鉄道宮崎実験線に約3.5km布設され、当初の要求を十分満足していることが確認できた。また、現地作業の省力化、布設後の特性の安定性などケーブル化の利点を確認できた。この実験線では今後も種々の実験が計画されており、実用化に向かって着々と準備が進められている。

一方、このケーブルはシステムの要求に応じ各種ループパターンを構成することが可能であり、今回の用途以外にも新交通システムでの車両の位置検知、運行管理、通信への適用が考えられている。最後に、この開発に際し終始御指導と御協力をいただいた関係各位に対し感謝の意を表わす次第である。

参考文献

- 1) 奥, 京谷, 佐貫: 超高速新幹線, 74~78, 中央公論社出版(昭52-2)
- 2) 板倉, 佐々木: 誘導線により車輛位置を連続的に検知する方式の基本特性, 電気学会誌, 95, 2, 25~29(昭50-2)