

二次元通信タイル間接続のための近接コネクタ

東京大学 新領域創成科学研究科 複雑理工学専攻

篠田・牧野研究室 修士課程2年 番号：47-146100 増田祐一

キーワード：二次元通信, 微弱無線局, 導波路結合

1. 緒言

我々はこれまで、シート状の二次元導波路を用いた近距離無線通信の研究を行ってきた [1]. これは、二次元伝送路内にマイクロ波を入れた際にシート表面に漏れ出るエバネッセント波を利用した通信形態であり、シート上に置いた機器間にて幅広い帯域を利用した高速通信を行う事が可能となる. シート内の伝搬ロスが空気中と比較し低く、また、シート内外は物理的に隔離されているため、通信シート内では障害物の有無に左右されず安定した通信を行う事が可能となる.

通信局から3m地点での電波強度が $35\mu\text{V/m}$ 以下となる場合、微弱無線局と呼ばれ使用する周波数帯域や変調方式等の制約を受けずに無免許で運用できる[2]. 空中に放射してよい電波強度の関係から、遮蔽物が存在する一般の室内空間において微弱電波を使用した広帯域無線通信は難しいが、通信シートを介した通信では、微弱無線局の様な出力電波の制限の強い通信局においても、安定して通信を行う事が可能となる.

部屋の床面全体で二次元通信を行う方法として、我々は二次元通信タイルの提案を行っている [3]. 二次元通信タイルを実際に床に敷き詰めた状態を図1に示す.

二次元通信タイルシステムにおける重要な技術的要素の一つとして、近接するタイル間の接続方法が考えられる. 床に二次元通信タイルを敷設する際に、タイル間での位置ずれは避けられない. タイルの設置を考えた際、タイル間の簡単な位置決めを行うだけで接続が完了するような接続機構が望ましい. 接続部に SMA コネクタのようなネジ式のコネクタではなく、押しこむだけで接続可能なスナップ方式のコネクタを使用したとしても、コネクタ間の高い位置決め精度が求められる為、タイルの簡単な接続機構を実現する事が困難である.

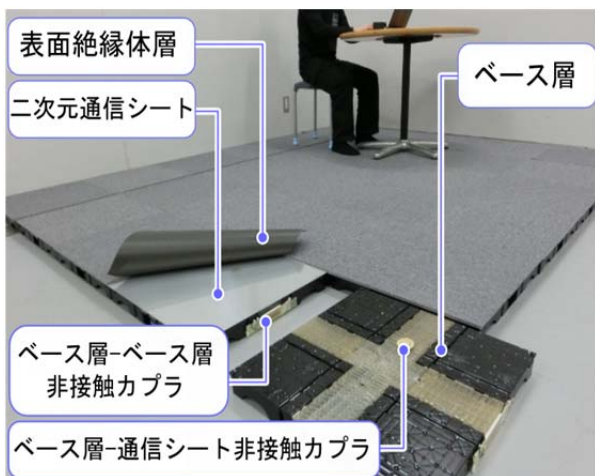


図1 二次元通信タイルを床面に敷き詰めた状態

そこで本研究では、二次元タイル間の簡単な接続機構を実現するために、位置決めの特ラランスが大きい、電氣的に非接触なカプラの開発を行う.

2. 二次元通信タイル

二次元通信タイルシステムの構成要素と、タイルを通る信号の動的な流れを図2に示す.

二次元通信タイルは1本のチェーン状に接続されていき、チェーン状に接続されたタイルを並列に並べる事で部屋全体にタイルを敷設する. よって、本システムでは、タイルの4辺の内2辺が近接するタイルと接続する必要がある.

二次元通信タイルは、信号増幅回路を持つベース層と、二次元通信シート層、表面絶縁体層(カーペット)の三層構造から成る通信タイルである. 二次元通信シート層は、タイル上の通信機器とベース層の間のインターフェイスの様に機能し、送信機から送信された信号(Tx)はシートを通りベース層へ入る. Tx信号はベース層を介して近接するタイルへ伝送され、さらにベース層にて信号を増幅する事で、タイル間での信号減衰を補償する.

3. 非接触カプラ

本研究において我々は、共振構造を持たない導波路結合を用いた非接触カプラの提案を行う. 共振構造を持たない為、特定の周波数でのピークを持たず、幅広い周波数帯域を伝送可能である. また、非接触カプラはx方向、y方向、そして向かい合うカプラ間の距離に対し高いトレランスを持つ. UWB band pass filters (BPF) の様に、いくつかの共振回路は、共振構造を持ちながら幅広い帯域と通過させる特性を持つが、それらは構造の寸法に特性が依存するため高いトレランスを実現する事が出来ない.

3.1 カプラに求められる条件

カプラには以下の2つの条件が求められる. 1つは、1mmの位置ずれを許容出来る事. もう一つは、使用帯域内における透過係数の最大値と最小値の差を少なくとも39dB以内とする事である.

これは、簡単な位置決めによってカプラ間の位置ずれを1mm程度まで抑えられる事、さらに、透過係数の差が最終的に39dBを超えると、透過係数の低い周波数

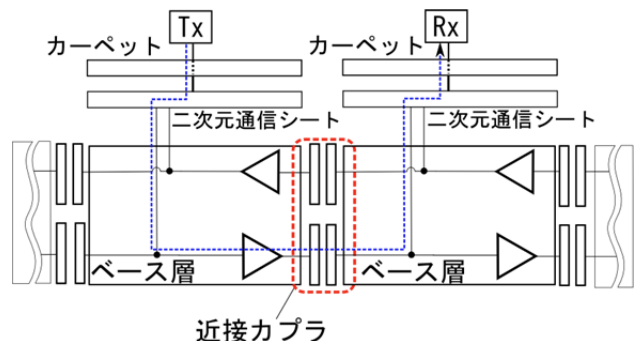


図2 タイルの構成と信号の流れ

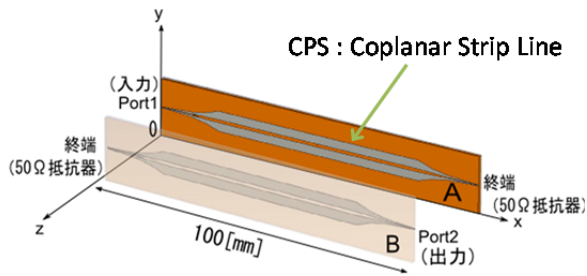


図3 非接触カプラ

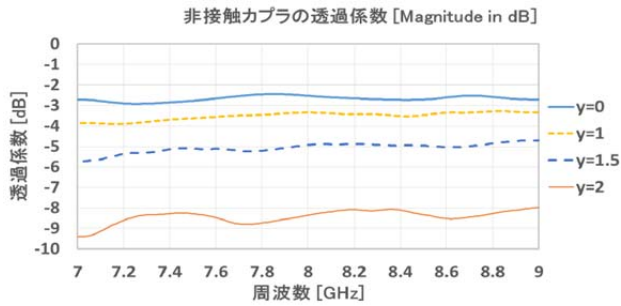


図4 シミュレーション結果.

基板誘電率は 4.8, 誘電正接は 0.02

帯域において信号レベルが雑音レベルを下回るためである。

図2において、信号がベース層に入り出力されるまでのゲインは 0 dB が最大となるよう設計されている。これは、0dB を超えると信号が発振し、アンプの性能を著しく損ねるためである。よって、ベース層内のアンプのゲインは、カプラの透過係数が最も良い値を基準に設定する必要があり、それよりも透過係数が低い周波数においてはその差分だけタイル毎に減衰が発生する。本システムでは、その減衰量が 39 dB を超えると、信号レベルが雑音レベルを下回る。

3.2 非接触カプラ

本稿で提案する非接触カプラを図3に示す。非接触カプラは、Coplanar Strip Line(CPS)の導波路同士を向かい合わせた形となっている。導波路同士は、電気的には接触していないが、お互いがある一定の距離まで近接すると、信号が入力側の導波路から出力側の導波路へ伝搬する。

7.0~9.0 GHz の帯域幅にて、図3における Port1 から Port2 までの透過係数を3次元電磁界シミュレーションソフト CST Microwave Studio を用いて求めた(図4)。

図4において、y方向の位置ずれが 1 mm の時、透過係数の低下は 1 dB であり、帯域幅における透過係数の最大値と最小値の差は 0.5 dB 程度である。

これらの結果は、非接触カプラがタイル間の信号伝送方法として十分有効である事を示している。

4. 非接触カプラの試作と計測

シミュレーションに基づき非接触カプラとそれを実装した近接コネクタを試作し(図5)計測を行った。2つのコネクタ同士を接続し、信号の入出力を行った際の透過係数を vector network analyzer (VNA) を用いて計測した。

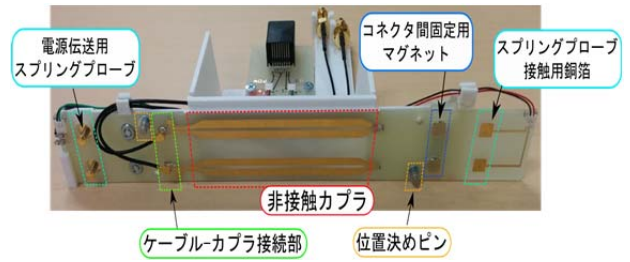


図5 試作したコネクタ

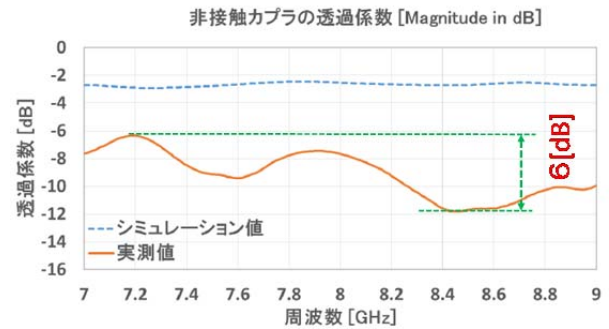


図6 計測結果. 基板誘電率 4.8

4.1 計測結果

計測結果とシミュレーション値を図6に示す。透過係数の計測値はシミュレーション値に比べ低下し、7~9 GHz の帯域において透過係数の最大値から最小値の差は 6dB となっている。このため、本コネクタでは、通信タイルを最大 6 枚まで接続可能である事が分かる。

シミュレーションでは、図5のカプラ部分のみをモデル化しており、ケーブルカプラ間接続部分と、ケーブル部分はモデル化されていない。このため、実際の計測値とのずれが発生している。図4と図6の結果から、非接触カプラ自体の設計には成功しているが、実際にそれを試作する際には、ケーブルカプラ間接続部分と、ケーブル部分において、各周波数での透過係数が悪化しないように何かしらの改善をする必要があると言える。

5. 結言

本稿では、二次元通信タイル間の簡単な接続機構を実現するための近接カプラを提案、試作した。また、CST Microwave Studio によるシミュレーションを用いて、非接触カプラ同士の各方向における位置ずれに起因する透過係数の変化量と、透過係数の最大値と最小値の差の増加量を確認した。最後に、実際に非接触カプラを試作、計測し、二次元通信タイルシステムにおける近接コネクタの有効性を示した。

参考文献

- [1] H. Shinoda, Y. Makino, N. Yamahira, and H. Itai, "Surface sensor network using inductive signal transmission layer," in Networked Sensing Systems, 2007. INSS'07. Fourth International Conference on, pp. 201-206, IEEE, 2007.
- [2] <http://www.tele.soumu.go.jp/j/ref/material/rule/>
- [3] H. Shinoda, A. Okada and A. Noda, "UWB 2D Communication Tiles", Proceedings of the 2014 IEEE International conference on ultra-wideband, pp. 1-5, Paris, France, September 2014.