

直流送電・非接触電力供給・通信統合配線系の検討 —同軸マルチメディア伝送路—

原川 健一

イークロスエイチ 〒270-1356 千葉県印西市小倉台 3-1-8-106

E-mail: ubiqstation@river.ocn.ne.jp

あらまし 本論は、直流送電、非接触電力伝送、通信を統合した、同軸マルチメディア伝送路に関するシミュレーション結果の報告である。

キーワード 直流送電、非接触電力伝送、通信、光ファイバ、同軸線路、次世代インフラ

Study of Totalized Distribution System consist of DC supply, WPT and Communication

—Coaxial Type Multimedia Transmission Line—

Kenichi HARAKAWA

ExH 3-1-8-106 Oguradai, Inzai-shi, Chiba, 270-1356 Japan

E-mail: ubiqstation@river.ocn.ne.jp

Abstract This is a simulated results about coaxial multimedia transmission line that transmits DC, MF band for WPT and UHF band for communication.

Keyword DC supply, WPT, Communication, Optical Fiber, Coaxial Line, Next Generation Infrastructure

1. はじめに

自宅やオフィスの電子機器回りには、複数の問題点があることを再確認した。

- ①多数の配線があつて絡まって埃まみれになっている。使いにくいし、醜い。
- ②多くの機器は直流で動作し、自然エネルギーの供給源も直流であり、ストックするバッテリーも直流である。電圧変換も DC/DC 変換器で容易に行える。このような背景から、直流送電の必要性が叫ばれているが、具体的な対応策が無い。
- ③情報と電源の端子が別であるため、電源を供給して情報交換するという一連の動作が出来ない。
- ④将来は、銅価格の高騰があると予想されているが、対応策がとられていない。[1]
- ⑤スマートフォンのアプリケーションがスマートフォン内のカメラ、センサ、電話、メモリ、GPS 等を融合してサービスを提供しているが、屋内では任意のアプリケーションを作つて家電、携帯電話、照明、PC 等を連携して、サービスすることが出来ない。

⑤は、上位層の概念まで含んで解決しなければならないが、他は、物理層である電力および通信を流す層の問題である。上記の問題点を指摘するときには、最下層の物理層が出来ていないということを認識しな

ればならない。

上位層は、物理層さえできれば、おのずと整備されると思われる。

以上から、我々が取り組むべきことは、

- ①直流送電
- ②非接触電力供給
- ③高速通信

を統合した次世代インフラとでもいうべき物理層を開発することである。①と②は、バッティングしているように思えるが、固定体・移動体の別や、電力量で使い分ければよいのではないだろうか。

コンセント・プラグによる電力配分は、1800 年代後半から使用されている。コンセントからの受電方式は、銅撚り線を用いているため、銅線の届く範囲でのフリーポジション性を有しており、使い勝手が良いと考えるべきである。掃除機を引き回せたり、ケーブルが巻き込めたりするなど、素晴らしい機能である。送電電力、効率、放射電磁界の点でも申し分ない。

家電製品の数が少ないときはこれで良かったが、現代では使用する機器の台数が増大しているとともに、直流駆動、モバイル性、通信との連携を考えなければならなくなってきた。

そろそろ、コンセントの規格を見直してもよい時期に来ているのではないだろうか。

This article is a technical report without peer review, and its polished and/or extended version may be published elsewhere.

2. 物理層のイメージ

2.1. 何がしたいのか

あるべき物理層の機能をリストアップすると以下のようになる。

- (1) 任意の場所で必要な電力を受電できる。
- (2) 高速通信が行える。
- (3) 安全である。
- (4) 伝送効率が高い。
- (5) 低コストである。
- (6) 各種ハードウェアをソフトウェアで連携したサービスが提供できる。

すなわち、図1に示すような階層構造を有する環境を実現するための物理層(電力・通信統合層)を実現することこそが求められている。上記第(6)項は、上位層の概念も含まれるが、他の項は物理層の問題である。

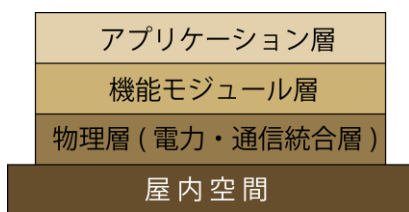


図1 階層化構造

2.2. 各層のイメージ

(1) 電力通信統合層(物理層)

表1 電力通信統合層(物理層)

本体	同軸ベースマルチメディア伝送路(本提案)	
	並行金属板マルチメディア伝送路[2,3]	
拡張・付加機能	通信	無線 LAN
		小型基地局(フェムトセル等)
		TransferJet [4]
	送電	A4WP(Alliance for Wireless Power)[5]
		Qi [6]
		WPT 機器
		軸受型電力伝送機能 スライドレール型電力伝送機能
	通信・送電	WPT 機器(通信機能を有するもの)
		電界結合フリーポジション送電パネル[7]
		二次元伝送シート[8]
磁界型二次元電力伝送シート[9] 電界通信機器(人体通信機器)		

電力・通信統合層は、本提案ですべて完結するものではなく、拡張・付加機能を接続して、適時適所に発展させるべきである。例えば、「同軸ベースマルチメディア伝送路は線状伝送路であるため、二次元伝送シートを組み合わせることで、必要箇所にフリーポジション機能が実現できる。」ことになる。

(2) 機能モジュール層

表2 機能モジュール層

センサ	温度計	ネットワークに接続され、アプリケーション層での処理を必要とするもの または、機能モジュール層で閉じて単独で機能するもの
	湿度計	
	カメラ	
	超音波センサ	
	人体センサ	
その他多数		
能動デバイス	ディスプレイ	
	スピーカ	
	照明	
	自動ドア	
	エアコン等の家電	
その他		
複合機能	ICカード	
	ロボット	
	冷蔵庫	
	その他	

(3) アプリケーション層

表3 アプリケーション層

プロトコル	ドライバ
暗号系	インターネットポット
制御ソフトウェア	OS

3. 平行導電板による取り組みと問題点

このような物理層の取り組みとして、筆者は平行金属板を用いる提案をした。図2には、平行金属板に電圧を印加し、任意の場所に取り出し端子を付けて電力を取り出すことを考えた。

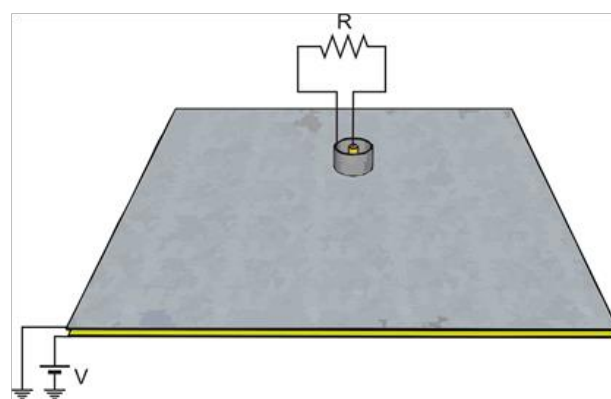


図2 平行金属板マルチメディア伝送路

実際に、このような金属板は建築素材として使用されている。[10] ただし、仕上げ材として使用されているだけであり、電気を流す用途には使用されていない。

本パネルは、厚さ 150 μm の厚さのアルミ板を二枚用意し、その間に発泡ポリエチレンを充填したものであり、軽量にも係らず、かなりの機械的強度を有している。また、防湿性にも優れている。

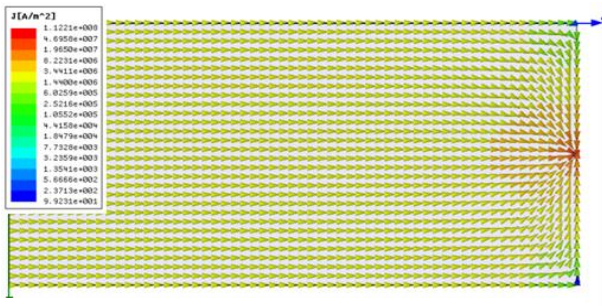


図 3 直流送電時の電流分布(DC)

直流を流すと、図 3 に示すように、均一に分布して流れることが判る。これは、左側の辺から右側の点電極に電流を流した様子である。導電層の厚さが $150\ \mu\text{m}$ と薄くとも、幅があつて全体に広がって流れるため、等価断面積は大きく、直流に対して低抵抗な伝送路になる。(ただし、点電極は所定以上の大きさとする。)

このパネルに、図 4 に示すような、ホーン型の入出力ポートを取り付け、入力端の同軸ケーブルの絶縁層間隔をボード間隔に漸増させると、ポートから入力された電磁波は反射されず、平行金属板間に導入される。

この図は、金属板間の間隔が 6mm で、 20GHz の電磁波を流した様子である。広帯域性も有している。また、本ポートは、直流の入出力端子も兼ねられる。

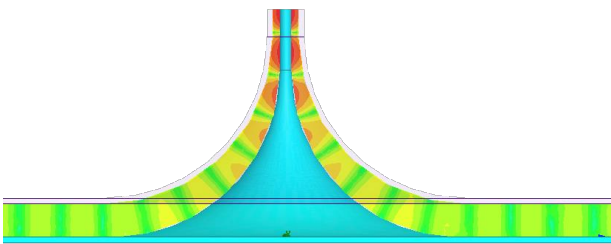


図 4 入出力ポート部の電界分布(20GHz)

図 5 には、並行金属板中を伝播している様子を示している(2GHz の場合)。きれいに流れていることが判る。ただし、平行金属板周囲には、電波吸収体があるものとしている。並行平板内では、電界強度は、距離の平方根に反比例して減衰し、自由空間よりも距離減衰は小さい。しかし、同図から判るように、受信部の実行開口面が小さいため、伝播損失は大きい。

シミュレーションの一例を示す。送受ポート間距離: 1m 、 7GHz の場合には、ホーン型入力端の中心導体 2ϕ 、ホーン底面 100ϕ 、ホーンの高さ: 35mm (上部金属板からの高さ) のとき、 S_{11} : -22dB 、 S_{21} : -30dB であった。外部からのノイズ侵入は無いとしても、通信チップのダイナミックレンジが約 70dB であれば、 2m 程度しか届かないことになる。対応策として、アドホック端末を必要箇所に置くことが考えられるが、使い勝手が良いとは言えない。受電側に反射板を置いたり、特定の

ポート間に導波路を置いたりする方法は、フリーポジション性が失われるため採用できない。

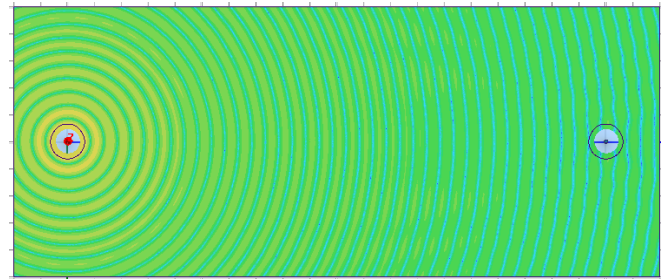


図 5 平行金属板内の伝播の様子(2GHz)

このような平行金属板は、直流送電および通信波伝送をする次世代プラットフォームと(物理層)として提案した。

しかし、実際に室内空間に適用することを考えると、次の問題点があることが判った。

- ① アルミニウム並行平板の下面と上面をそれぞれ接合しなければならないが、容易ではない。
- ② 直流送電時、受電部でショートした場合、いきなり電源断につながり、被害がパネル全体に及ぶ。個々の受電部にヒューズを取り付ける方法で対応するしかない。伝送路レベルでの対応が出来ない。
- ③ 入出力ポート(図 4)の後付けは困難である。
- ④ 電磁波入射時、VSWR が低くなるように、周辺部に反射防止用の電波吸収体を張り巡らさなければならない。
- ⑤ 平行金属板は、非接触電力供給用の MF 帯に対して大きなコンデンサとして機能してしまい伝送出来ない。非接触電力供給技術併用時には、個々のポートから直流をインバータで MF 帯に変換しなければならない。
- ⑥ 受信部の実行開口面が小さいことにより伝播損失が大きい。アドホック通信または光ファイバをパネル内に配線し、O/E 変換機能を備えたポートを等間隔に配置する必要がある。

以上のような多くの問題点を抱えているため、発展させることは困難であった。

4. 同軸方式の提案

4.1. 同軸方式の原理説明

平行金属板の問題点を払拭できる方法として同軸線路方式を検討した。直流から高周波まで送電でき、シールド性能がある導波路は、同軸線路が適している。

同軸線路内の電界・磁界・電流分布をみると、図 6 のようになる。

図 6(a)は、同軸線路の軸に垂直な面で切った断面図

である。これは、TEMモードのときの電界と磁界の分布である。電界ベクトルは放射方向かつ金属面に垂直に、磁界ベクトルは同心で周回方向に走っている。

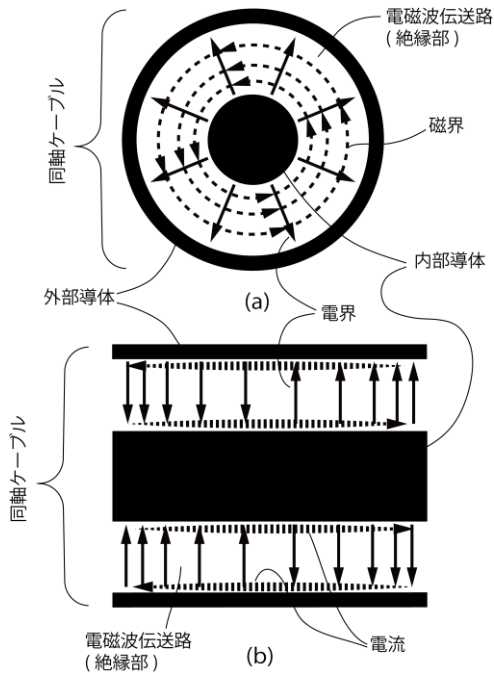


図 6 同軸線路内の電磁界分布

図 6(b)は、同軸線路の長手方向で中心軸を通る断面で切った様子である。電界は長手方向で半波長毎に向きを変え、表面電流とともに閉回路を形成している。

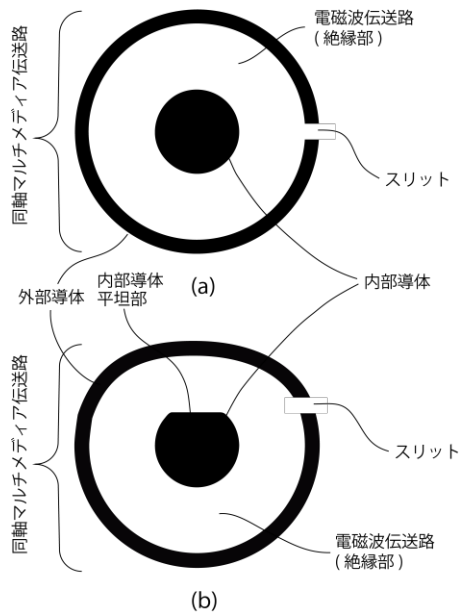


図 7 同軸マルチメディア伝送路イメージ

これから言えることは、図 7(a)に示すように、金属表面を流れる電流を切らないように、外部導体にスリ

ットを設けても、同軸線路の動作には影響を与えないということである。さらに、図 7(b)のように、内部導体に扁平部を設け、スリットから挿入するカードが扁平部と接するような構造にしても問題ないと思われる。

逆に、金属表面を流れる電流をカットする方向にスリットを切った例として漏洩同軸ケーブルがある、スリットを外部導体に斜めに切っているため、スリット両端に電圧が発生し、電界放射する。今回の提案は、これとは逆の提案である。[11]

図 6(a)から、内部導体と外部導体の間に電圧がかかっているため、内部導体と外部導体間に電極を渡せば電力が取り出せること。磁界が同心状に周回しているため、絶縁部にコイルを置けば電磁誘導によって電力が取り出せることが判る。

4.2. 同軸マルチメディア伝送路の必要要件

次に、本同軸線路を用いて、直流送電、非接触電力供給、電波による通信、光による通信を多重に共存させる方法を考える。

表 4 各メディアの必要要件

目的	周波数・電力	必要要件
接触給電 (直流送電)	0Hz、 50kW	<ul style="list-style-type: none"> ・ショートしないこと。 ・十分高い導電率を有し安全電圧(48V)で送電が行える。 ・ヒューズ、ブレーカ等による回線保全が可能なこと。
非接触給電 (MF 帯)	1MHz、 1kW	<ul style="list-style-type: none"> ・隅々まで高い電圧を供給 ・周波数多重電力伝送可能 ・放射電磁波が現行法令内 ・分岐部での反射が少ない。
電波通信 (UHF 帯)	100～ 900MHz (約 14 多重)、 数十 mW	<ul style="list-style-type: none"> ・端部吸収され、VSWR が低い。 ・広帯域吸収性を持たせる。 ・端部吸収素子は、非接触電力供給に対しては低損失 ・水、複数枚のカード挿入があっても減衰が小さい。 ・分岐部での反射が少ない。
光通信	光 (マルチバンド)	<ul style="list-style-type: none"> ・ガラスまたは、プラスチックだけならば、同軸線路内に複数本通すことが可能 ・光ファイバの性能を発揮 ・利用者に光ファイバを意識させない。

表 4 には、各メディアが必要とする要件を記している。これらを満足することにより、共存させることが可能になる。

まず、直流であるが、内部導体と外部導体間に電圧を印加して送電する。このため、内部導体と外部導体がショートしてはだめである。

非接触電力供給においては、選択肢が出てくる。端

部を開放して電圧を主体に考えるのか、端部を短絡して電流を主体に考える選択肢がある。しかし、直流と共存すると決めた段階で、電圧を主体にした方法しか選択できなくなる。

さらに、外部に対する電磁波放射を低減するためには、スリット両側の導体に電圧がかからないようにするとともに、外部導体は端面が閉じている必要がある。

電波による通信は、外部に漏えいしないとともに、端部で反射せず、管路内の VSWR(電圧定在波比)が高くないことが必要である。

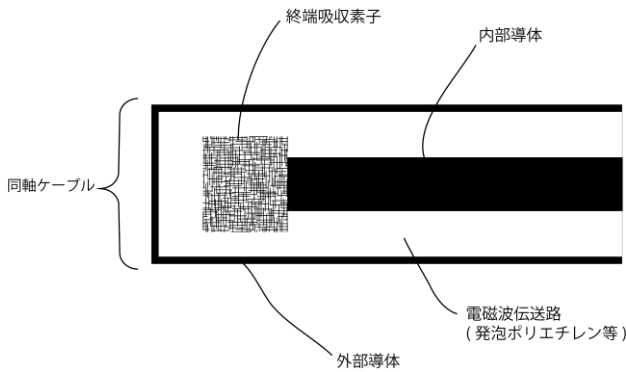


図8 同軸マルチメディア伝送路の端部構造

各メディアに対する必要要件を満足するものとして、同軸線路の端部は図8に示すものが必要であることが判る。すなわち、内部導体と外部導体は接触していないこと、端部に終端吸収素子が設けられていて通信波を吸収することである。

4.3. 非接触電力供給

図9は、1m長同軸線路の終端部が図8のように外部導体は閉じているが、内部導体は端部で接していない構造を採用しているときに、25MHzの電磁波を照射した時の電圧・電流分布を示している。これは、1MHzを25m長の同軸線路に流す条件を模したものである。解析要素数の制限からこのようにした。

これより、端部では電圧は最大になり(ピーク値は考えていない)、電流は最低になる。これは、端部で反射し、定在波が起きているためである。これから、電圧型の受電は可能であるが、電流型(磁場型)の受電は変動が大きすぎるとともに、絶対値が小さいため利用出来ないことが判る。このため、本方式では、非接触電力供給は電界型のみとしている。

さらに、端部より、 $\lambda/12$ の範囲であれば、電圧は約±6%の変動範囲に収まる。1MHzでは25mとなり、電源から、25mの範囲で安定した送電が可能である。(電源を中心に置いた場合には、両翼で50m)

図10には、電界結合型カードのイメージと回路図(直列共振型、並列共振型)を示している。シミュレー

ション結果からは、共振条件が合うと、大電力が流れてしまうため、共振条件をずらした共振回路を有するカードを用意することにより、所望の電力がスリットに差し込むことで得られる。

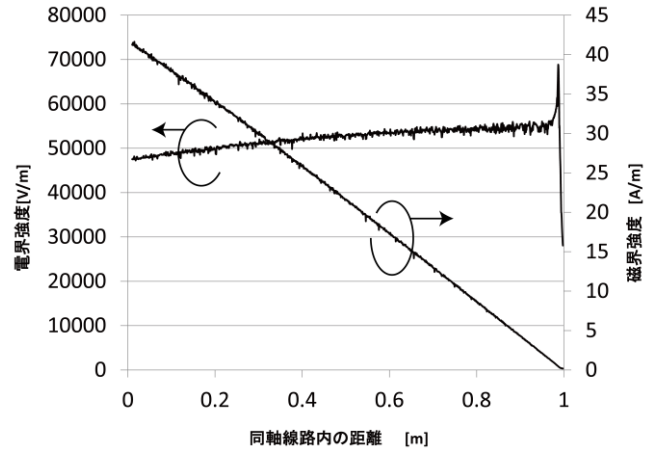


図9 1m長同軸に25MHz印加時の電圧電流分布

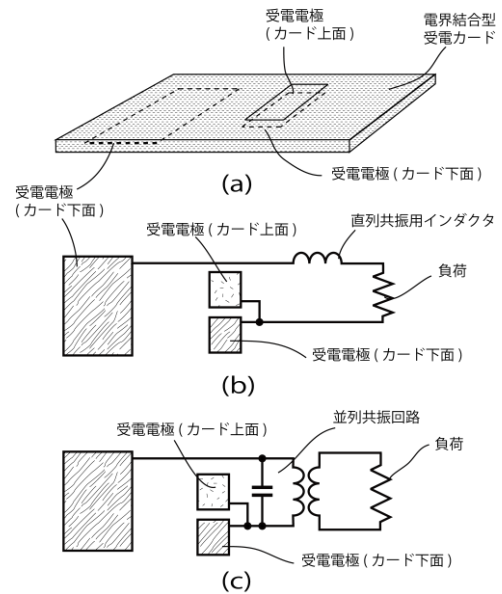


図10 電界結合型受電カード

4.4. 通信(電波)

通信用の周波数として、各種周波数を検討したが、スリット部に水分が混入したときの減衰、カードが複数枚挟まれた時の反射、分岐部での反射等を考慮すると、SHF帯よりはUHF帯が適している。

一方、通信波に対する端部吸収素子の性能が問題になるが、その検討結果を次に示す。

図11には、終端吸収素子の構造を示しており、内部導体から抵抗(50Ω)、コイル、端部電極を接続した。コイルの外形は、内部導体と同じ20φ、外部導体の内径は46φ、コイルはピッチが5mm、巻き数は40ター

ン、コイル断面は 1mm×2mm(2mm の面が隣接線と対向)、材質はアルミニウムとしている。

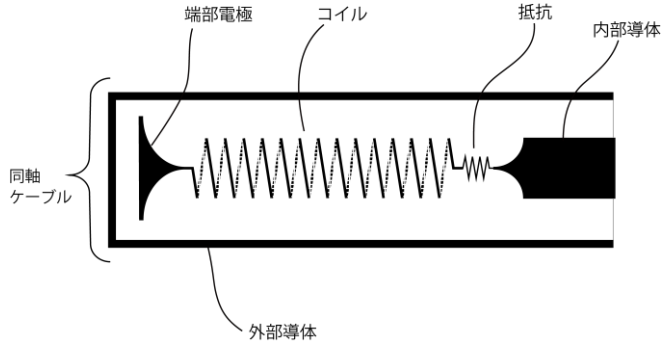


図 11 終端吸収素子の構造

図 11 の右端部から入射した時の S11 特性(反射減衰特性)の周波数依存性を図 12 に示した。図に示すように、くし状の吸収特性を示している。図には、約 2.2GHz まで示しているが、シミュレーションでは 5GHz まで延びていた。また、2GHz までの S11 は 20dB 以上となっており、VSWR を低減するには十分な特性である。各吸収体のバンド幅は、周波数の低い領域では約 1MHz であり、2GHz 付近では 10MHz 以上であった。

本終端吸収素子の 1MHz に対する吸収特性は、-0.01dB 以下であり、非接触電力伝送に対してロスにはならない。

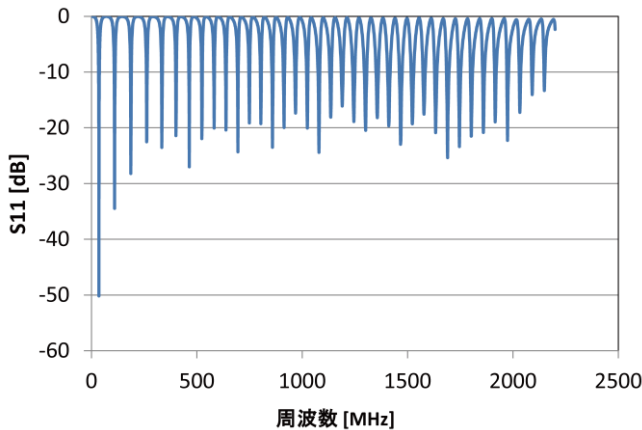


図 12 終端吸収素子の周波数特性

4.5. 入出力

4.3 節では、出力方式として非接触電力供給の説明をしたが、本同軸マルチメディア伝送路は、図 13 に示すように、内部導体にプローブを接続して直接、UHF 帯、MF 帯、直流を取り出すことも可能である。この際には、フィルターを挿入して選択して取り出す。

特に、非接触電力供給用の MF 帯をそのまま取り出した後に、ヒンジ型のキャパシタ、スライドレール型のキャパシタを介して、回転体または移動体に電力供給することも可能である。

図 14 は、二つのすべり軸受を介して、2MHz の電力を供給し、50W で電球を点灯させた様子を示す。今までは、スリッピングを用いて電力送電を行っており、集電環がブラシまたはカーボンと接する方式であるため、清掃が不可欠であり、メンテナンスに手間がかかっていたが、電界結合方式は、このようなメンテナンスが不要である。

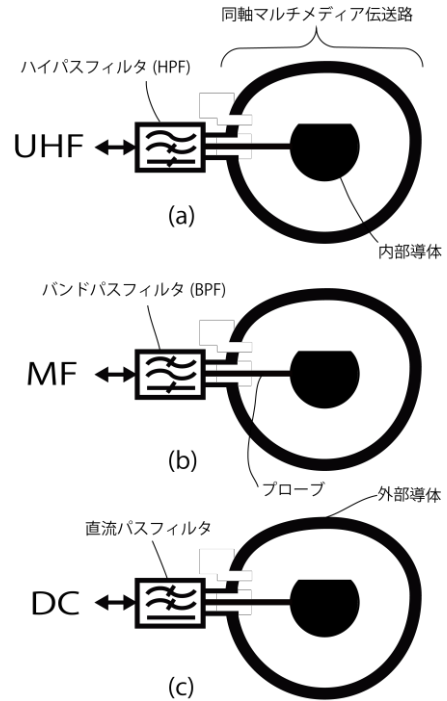


図 13 内部電極から直接電力を取り出す

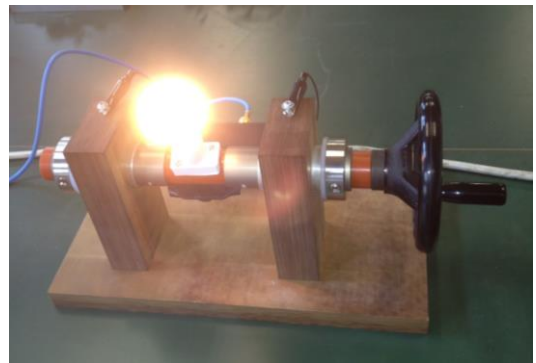


図 14 軸受を介して電力を送電した様子

4.6. ネットワーク

図 15 には、3 つの T 分岐を用いて製作したネットワークを示している。縦方向に走っているのが幹線であり、横方向に支線 A、B、C が走っている。

幹線・支線とも、スタート部にヒューズを付け、末端に終端吸収素子を付けている。電界結合受電カードが 8 枚程度挿入されているが、これらは無線 LAN ポート、充電装置、照明、センサ、アロマディフューザ、

時計、スピーカ、電飾(クリスマス等)、フォトスタンド、ラジオ、DVD であったりする。

直流を取り出す DC コンセント等も付いており、固定物で、大電力を消費するテレビ、冷蔵庫、EV 充電装置に給電する。

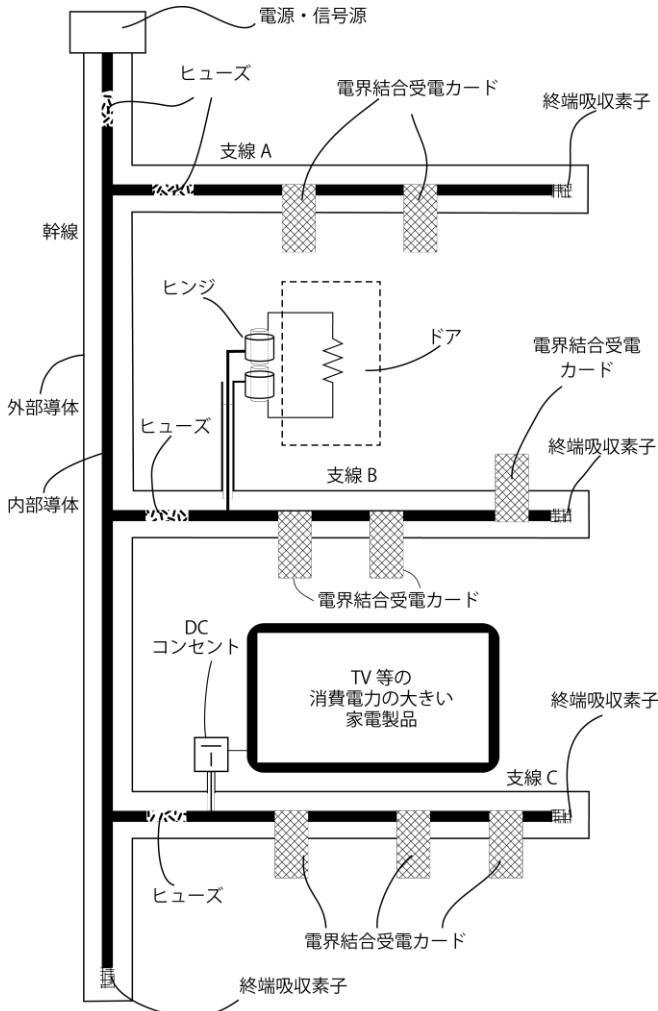


図 15 ネットワークの一例

さらに、非接触電力用の MF 帯をそのまま取り出し、図 14 のヒンジを介してドア等の可動体に電力を供給している。ヒンジ自体は、高周波に対して低インピーダンスであるため、UHF 帯の信号も伝えることができる。これにより、ドア自体にディスプレイを設置したり、自動開閉機構やセンサを設けたりすることも可能になる。

4.7. 実装イメージ

図 16 に実装イメージの一例を示す。本図は、アルミニウム押し出し金型によるストレートブロックの断面図を書いている。外部導体は、ボディ部とキャップ部に分かれ、ねじで固定できるようにしている。カー

ド入力部には、導電性ゲート材をパネ力が働くような形状で設けている。導電性ゲートにより、通常は開口が閉じていて、水分やほこりの浸入を防いでいる。電磁波伝送路(絶縁部)は独立気泡の発泡ポリエチレンで充填しており、キャップ部とボディ部で分かれるようになっている。通常は、密着しているため、埃や水分が浸入する空間が無い。その表面にはフィルムがカバーされており、受電カードが容易に挿入できるようにしている。さらに、受電カードが挿入された際に発泡ポリエチレンが圧縮され、強い反力が働いて、カードが内部導体に密着される。

内部導体内には、サービススペースが設けられている。内部導体にも蓋があって、内部に機器を挿入できるようにしている。外部導体にスリットがあっても同軸線路の動作が機能するのと同様に、内部導体にスリットがあっても、スリットが表面電流と並行方向であれば、内部に電磁界は侵入せず、機器を置ける。

サービススペース内には、光ファイバ用の交換器が必要に応じて取り付けられることを想定している。光ファイバ自体は、電磁波伝送路内に設置している。光ファイバは、ガラスまたはプラスチックの細線であるため、数本ならば、全長に挿入しても同軸伝送路の動作に影響を与えない。

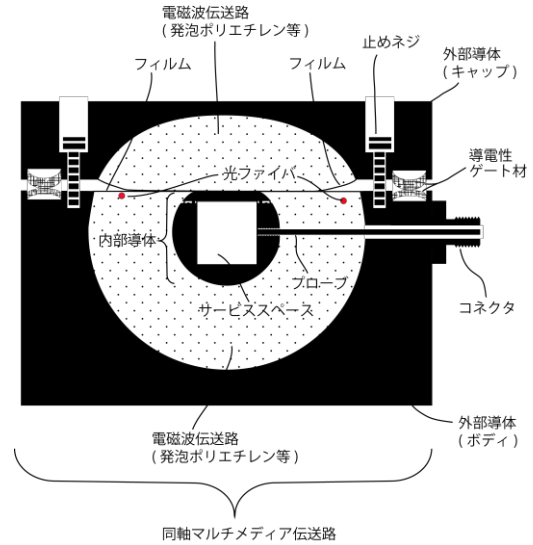


図 16 実装イメージ

4.8. 光通信

同軸マルチメディア伝送路を長く使用できる規格として存続するためには、超高速通信が可能な光ファイバを組込む必要があると判断した。

4.9. 放射電磁界

図 17 に、1m 長の同軸マルチメディア伝送路の両端にポートを設け、1MHz/1kW を一端から入力した場合

の電界の距離減衰特性を示した。ポート部からの電磁界放射はなく、線路のみからの放射を検討した。さらに、図 16 のボディとキャップ部の導通の有無で比較した。

キャップ部がボディ部と電氣的に離れているときには、点線で示す強い電界放射が観測されているが、電氣的に導通しているときには、同軸線外部導体のシールド効果が働き、スリットが開いていても、放射電界強度は低く、微弱無線局の規定及び高周波利用設備設置基準を下回る見込みである。さらに、近傍においても ICNIRP の防護指針(public)を下回っている。

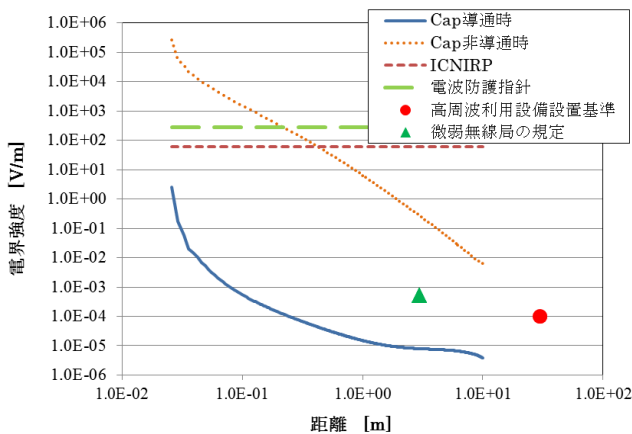


図 17 放射電界強度の距離減衰特性

図 18 には、上記同軸伝送路の放射磁界の距離減衰特性を示している。キャップ部がボディ部と電氣的に離れているときには、放射磁界強度は大きいですが、電氣的に一体化しているときには 1/1000 程度に低減している。極近傍では、ICNIRP の防護指針(public)に近接しているが、他は十分に下回っている。

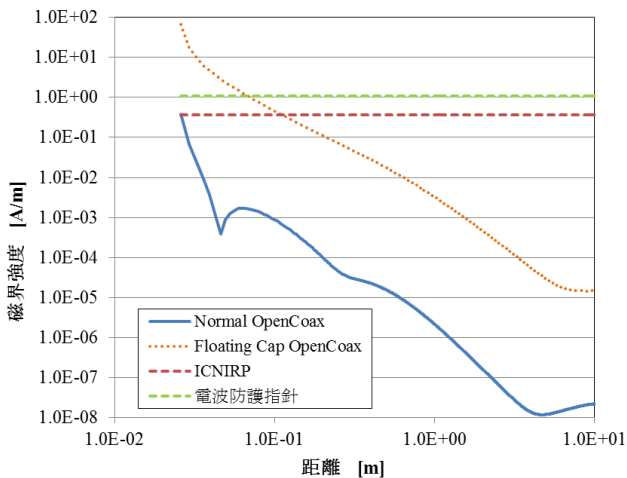


図 18 放射磁界の距離減衰特性

5. まとめ

日常使用している電子機器回りの諸問題が、相互に大きく関係しており、物理層を規定することで相当解決できそうなことが判ってきた。また、物理層が規定されれば、上位層はおのずと整備されるはずである。これにより、検討すべき目的が明確化できたと思われる。

解決策として、同軸マルチメディア伝送路を提案させていただいた。本提案は、前提案の平行金属板方式の問題点をほとんど解決している。ただし、現時点ではヒンジを用いた電力伝送部以外は、シミュレーションによる結果であるため、試験体を製作して実証してゆく必要がある。

次世代インフラとしての電力・通信統合層は、これからの社会が求める技術であり、普及した場合には、かなり大きな経済的効果および他の波及効果が期待できる。このためにも、生産技術、現場施工技術を含めた全般的技術的水準を早急に高め、IS またはデファクトによる国際標準に結び付けてゆかなければならない。

本技術は、広い分野の技術を包含するため、多くの方の意見を集約し、現行案の修正も受容しつつ、スピード感を持って技術確立、標準規格策定を進めてゆく必要がある。

文 献

- [1] 安達 毅, "元素の枯渇問題 鉱物資源の世界情勢と将来のゆくえ", 化学, Vol.62, No.12, 2007
- [2] 原川健一, "ワイヤレス給電技術", 田路和幸編, "スマートマウスの発電・蓄電・給電技術の最前線", シーエムシー出版, pp.205-216, 2011.
- [3] 原川健一, "ワイヤレス電力伝送技術を統合した直流給電システム", 篠原真毅編, "ワイヤレス給電技術の最前線", シーエムシー出版, pp.239-250, 2011.
- [4] <http://www.transferjet.org/ja/> トランスファージェット・コンソーシアム
- [5] <http://www.a4wp.org/> A4WP コンソーシアム
- [6] <http://www.wirelesspowerconsortium.com/jp/> ワイヤレス・パワー・コンソーシアム
- [7] "ワイヤレス給電を制するのは誰か", 日経エレクトロニクス, 2011.11.28, pp.44-45.
- [8] H.Shinoda, Y.Makino, N.Yamahira and H.Itai: "Surface Sensor Network Using Inductive Signal Transmission Layer", Proceedings of Fourth International Conference on Networked Sensing System (INSS07), pp.201-206, 2007.
- [9] T.Sekitani, M.Takamiya, Y.Noguchi, S.Nakano, Y.Kato, T.Sakurai and T.Someya: "A large-area wireless power-transmission sheet using printed organic transistors and plastic MEMS switches", NATURE MATERIALS, Vol.6, pp.413-417, 2007.
- [10] <http://www.alpolic.com/japan/>, アルポリック
- [11] 漏洩同軸線路の一例として、松下尚弘、杉山智則、柳沼順、"漏洩同軸ケーブル式無線 LAN", 東芝レビュー, Vol.58, No.11, pp.41-44, 2003..