

## 第10回 マックスウェルの方程式 雑音発生のメカニズムとアンテナの基礎

TDU



The Spiral Ring Antenna

Size : 0.176λ  
Gain : 2.0dBi  
Bandwidth : 4.2% For 430MHz

### Team BUD

Dr. Hideyuki Nebiya, JE1BQE  
Dr. Hiroaki Kogure, JG1UNE  
Dr. Hideho Yamamura, JF1DMQ



Researching Group on the Near Field of Electromagnetic Radiation  
AMPLET Communication Laboratory

本講義「電子工学で用いる数学と物理現象を結びつける」は、受講生の方々から書籍化のご要望が多かったので、電波技術協会報「FORN」2014年9月号～2015年5月号に連載記事として執筆しました。電波技術協会様の御好意により、以下のURLよりその記事を無料でダウンロードできます。

<http://amplet.tokyo/nebiya/page09forn.html>

講義資料は  
<http://amplet.tokyo/tdu>  
からダウンロードできます。

初版：2017年4月6日  
更新：2017年6月30日

ユビキタス無線工学  
担当：根日屋 英之

2017年6月15日

1

## 電界と磁界

2017年6月15日

2

## 「界」とか「場」って何？

TDU

空間で目に見えない力(引力や斥力)が存在する場所を、「界」とか「場」という。



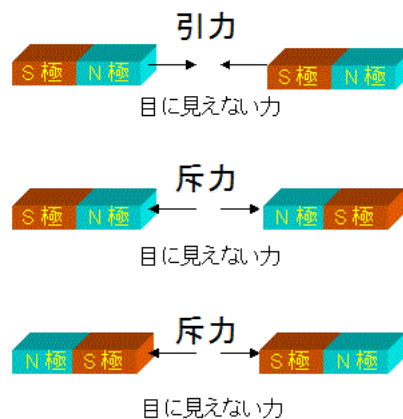
2017年6月15日

3

## 磁石の力 …… 磁界(磁場)

TDU

磁石により空間に作り出される界(場)を、「磁界(磁場)」という。

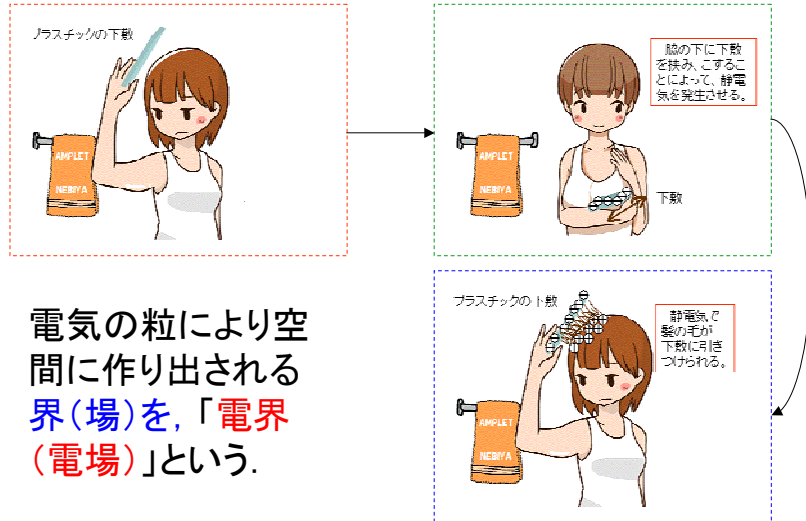


2017年6月15日

4

## 電気力 …… 電界(電場)

TDU



電気の粒により空間に作り出される界(場)を、「電界(電場)」という。

2017年6月15日

5

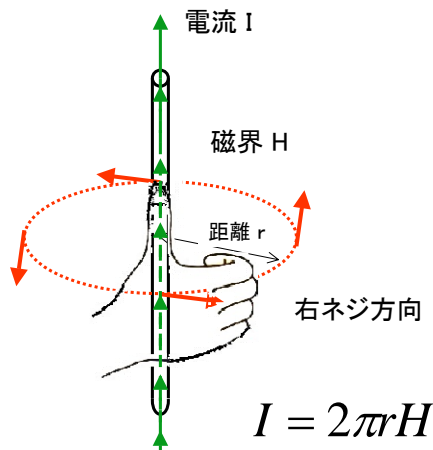
## マックスウェル の方程式

2017年6月15日

6

## アンペールの法則

TDU



2017年6月15日

7

## マックスウェルの方程式

TDU

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{rot}\vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial}{\partial t}\vec{D} \quad \dots (1) \\ \text{rot}\vec{E} = -\frac{\partial}{\partial t}\vec{B} \quad \dots (2) \\ \text{div}\vec{B} = 0 \quad \dots (3) \\ \text{div}\vec{D} = \frac{\rho}{e_0} \quad \dots (4) \end{array} \right.$$

$\vec{H}$ : 磁界ベクトル  $[A/m]$   
 $\vec{D}$ : 電束密度ベクトル  $[C/m^2]$   
 $\vec{E}$ : 電界ベクトル  $[V/m]$   
 $\vec{B}$ : 磁束密度ベクトル  $[Wb/m^2]$   
 $\vec{J}$ : 電流面密度ベクトル  $[A/m^2]$   
 $\rho$ : 電荷密度  $[C/m^3]$   
 $e_0$ : 真空の誘電率  $8.854 \times 10^{-12} [F/m]$

2017年6月15日

8

マクスウェルの方程式は  
 … 先人の集大成 + 変位電流

アンペールの法則

マクスウェルの変位電流

単極磁化の否定法則

クーロンの法則

ファラデーの法則

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{rot} \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial}{\partial t} \vec{D} \quad \dots (1) \\ \text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial}{\partial t} \vec{B} \quad \dots (2) \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{div} \vec{B} = 0 \quad \dots (3) \\ \text{div} \vec{D} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad \dots (4) \end{array} \right.$$

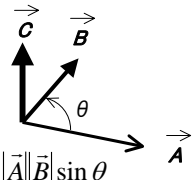
2017年6月15日

9

マクスウェルの方程式に出てくる数式

rot (外積)

数学におけるベクトルの外積の定義



$$|\vec{C}| = |\vec{A} \times \vec{B}| = |\vec{A}| |\vec{B}| \sin \theta$$

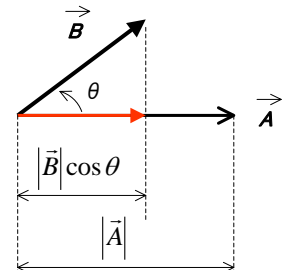
偏微分

$$\frac{\partial}{\partial t}$$

多変数関数に対して一つの変数のみに関する微分

div (内積)

数学におけるベクトルの内積の定義

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = |\vec{A}| |\vec{B}| \cos \theta$$


2017年6月15日

10

## マックスウェルの方程式の第1番目の式

2017年6月15日

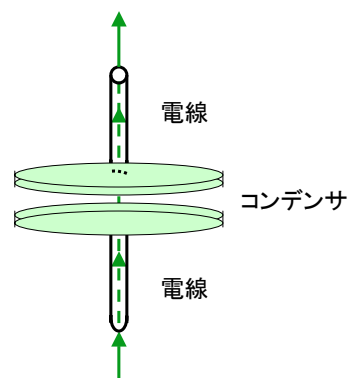
11

## 電線とコンデンサを流れる電流

TDU



電線には、直流電流も  
交流電流も流れる。



コンデンサには、直流電流は  
流れず、交流電流は流れる。

2017年6月15日

12

# アンペールの法則

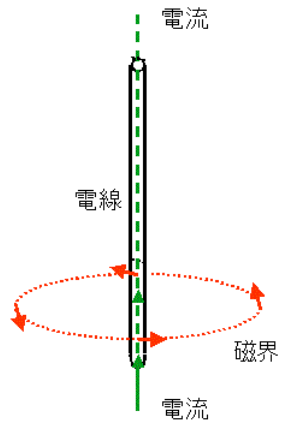
マックスウェルの方程式  
の第1番目の式

$$\text{rot}\vec{H} = \vec{J}$$

$$\text{rot}\vec{H} = \vec{J}$$

↑  
*rot* は、電流の回りを、くるくる  
「右方向に回転している」という  
意味です。

by 根日屋



2017年6月15日

13

# マックスウェルの変位電流

マックスウェルの方程式  
の第1番目の式

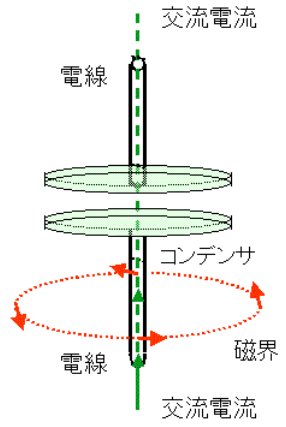
$$\text{rot}\vec{H} = \frac{\partial}{\partial t}\vec{D}$$

$$\text{rot}\vec{H} = \frac{\partial}{\partial t}\vec{D}$$

↑  
 $\frac{\partial}{\partial t}$  は、時間と共に変化する、

すなわち、交流の世界と考えよう。

by 根日屋

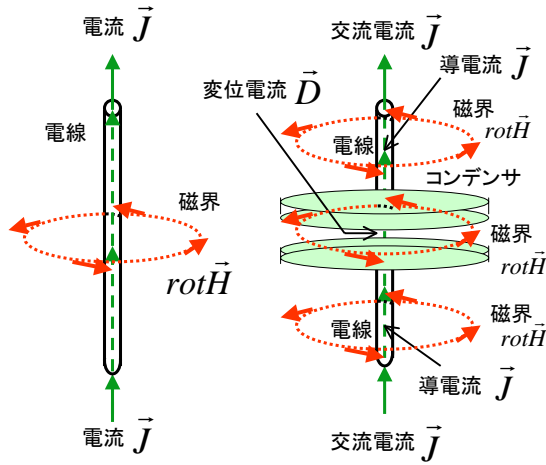


2017年6月15日

14

# アンペールの法則 & マックスウェルの変位電流

TDU



$$\text{rot} \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$\uparrow$  磁界を誘起 [A/m<sup>2</sup>]     $\uparrow$  導電流 [A/m<sup>2</sup>]     $\uparrow$  変位電流 [A/m<sup>2</sup>]  
 意味的には変位電流密度 (電束密度の時間変化)

(a) 電線を通る導電流と磁界

(b) 変位電流と磁界

2017年6月15日

15

## マックスウェルの方程式の第2番目の式

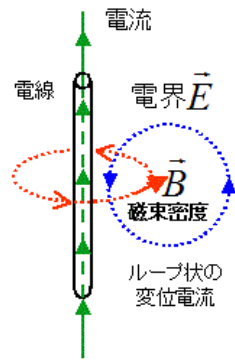
2017年6月15日

16



# ファラデーの法則

TDU



右ネジの法則と逆向き

$$\text{rot}\vec{E} = -\frac{\partial}{\partial t}\vec{B}$$

交流のとき、磁界の周りには、くるくる回る電界が発生する。

2017年6月15日

17

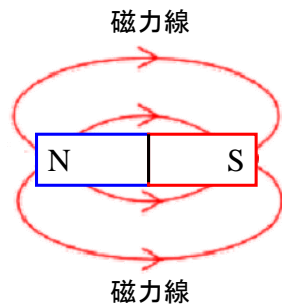
## マックスウェルの方程式の第3番目の式

2017年6月15日

18

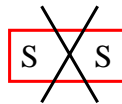
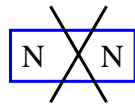
## 単極磁化の否定法則

TDU



div は「発散する」こと.

現代の電磁気学では、今のところ、単極（N 極だけとか S 極だけ）の磁石は存在せず、必ず磁石は N 極と S 極が同居している。この場合、磁力線は N 極から出て S 極に入るので、磁力線は発散しない。



$$\text{div} \vec{B} = 0$$

2017年6月15日

19

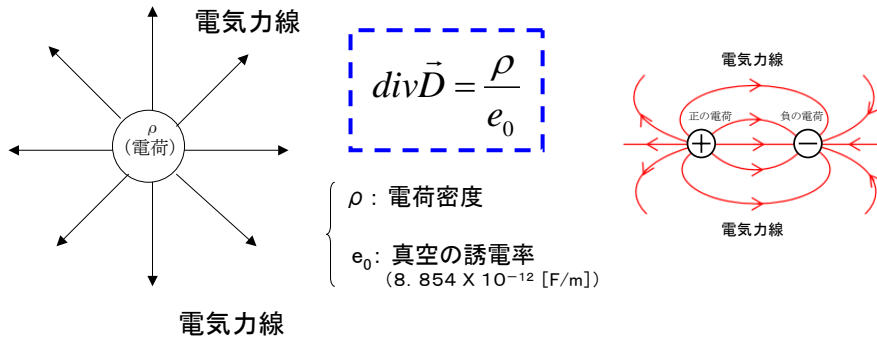
## マックスウェルの方程式の第4番目の式

2017年6月15日

20

## クーロンの法則

空間に正の電荷( $\rho$ )を置くと、そこから電気力線が発散(湧き出す)する。正の電荷は湧き出し口、負の電荷は吸い込み口と考える。



2017年6月15日

21

ここで 根日屋流の講義として ...

2017年6月15日

22

## マックスウェル の方程式に出てくる数式

TDU

- $rot$  : 回転(ローテーション)  
→ ベクトル演算子の外積  
⇒ 「右ネジ方向にくるくる回っている」と理解しよう.
- $\frac{\partial}{\partial t}$  : 時間  $t$  の偏微分の表記  
→ 時間  $t$  とともに値が変わってる.  
⇒ 極論であるが, この偏微分の表記を見たら,  
「交流のときに起こるのだ」と思ってよい.
- $div$  : 発散(ダイバージェンス)  
→ ベクトル演算子の内積  
→ 二つのベクトルの強さの合計  
⇒ 「湧き出すか」か「吸い込むか」の状態を示している.

2017年6月15日

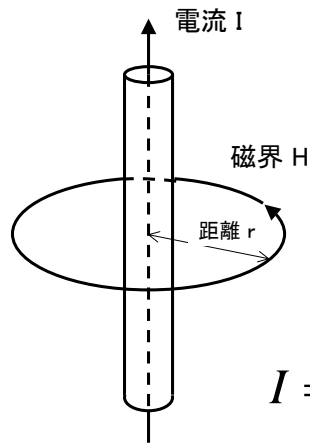
23

## 電磁雑音発生のメカニズム

2017年6月15日

24

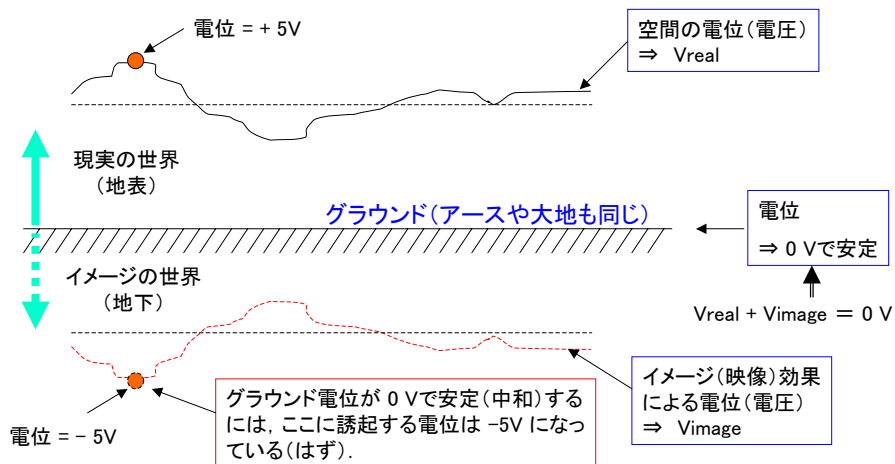
# アンペールの法則



2017年6月15日

25

# グラウンドは電気信号では鏡と考えられる その理由は、グラウンド電位は0Vで安定しているから

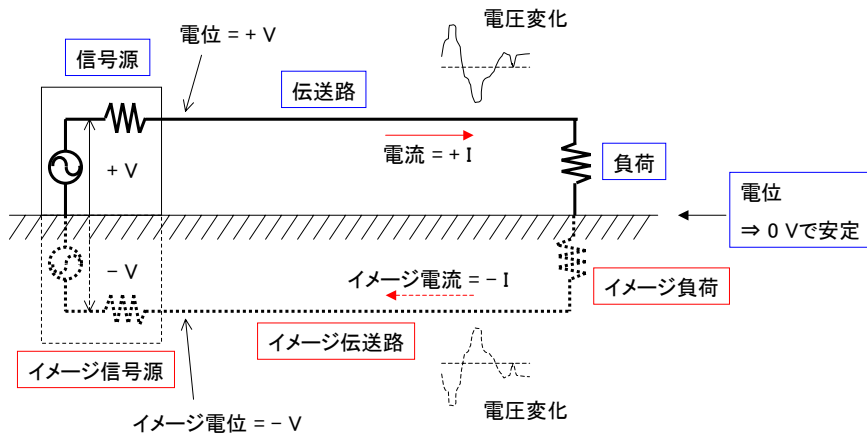


2017年6月15日

26

## グラウンドを考えたの伝送

TDU

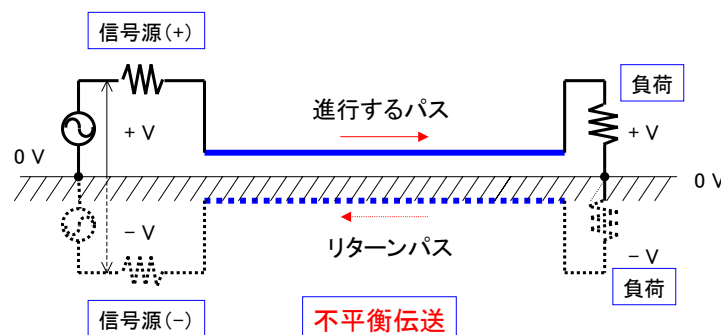


2017年6月15日

27

## 平衡伝送でも不平衡伝送でも 進行するパスとリターンパスを考える

TDU

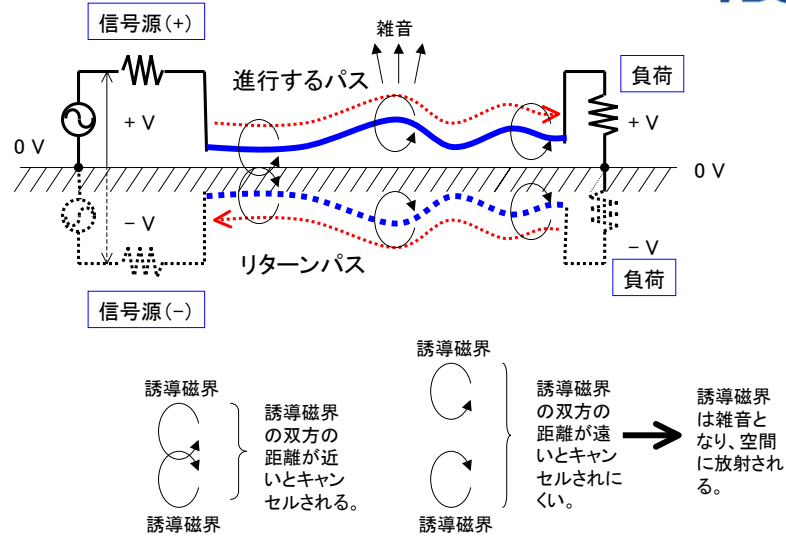


- 平衡伝送でも不平衡伝送でも考え方は同じで、検討は平衡伝送で考えればよい。
- 進行するパスとリターンパスがあるから、伝送路となる。その理由は次ページで。

2017年6月15日

28

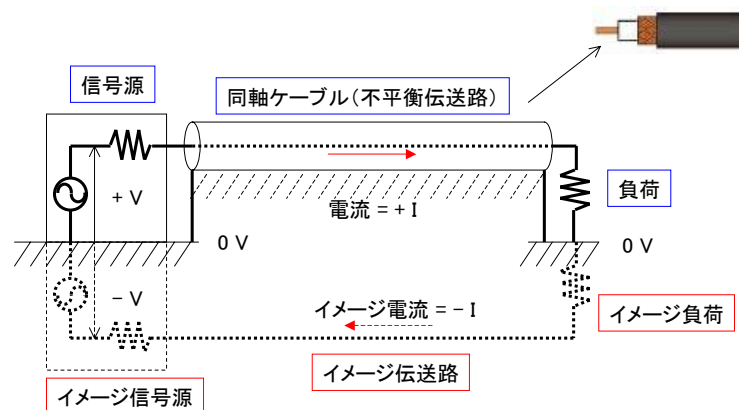
# 雑音が出やすい場所



2017年6月15日

29

# 伝送用のケーブル・同軸ケーブル(不平衡伝送路)

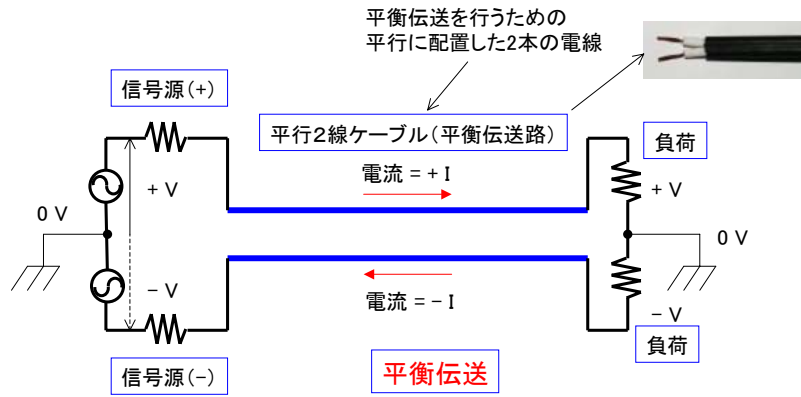


2017年6月15日

30

## 伝送用のケーブル・平行2線ケーブル(平衡伝送路)

TDU

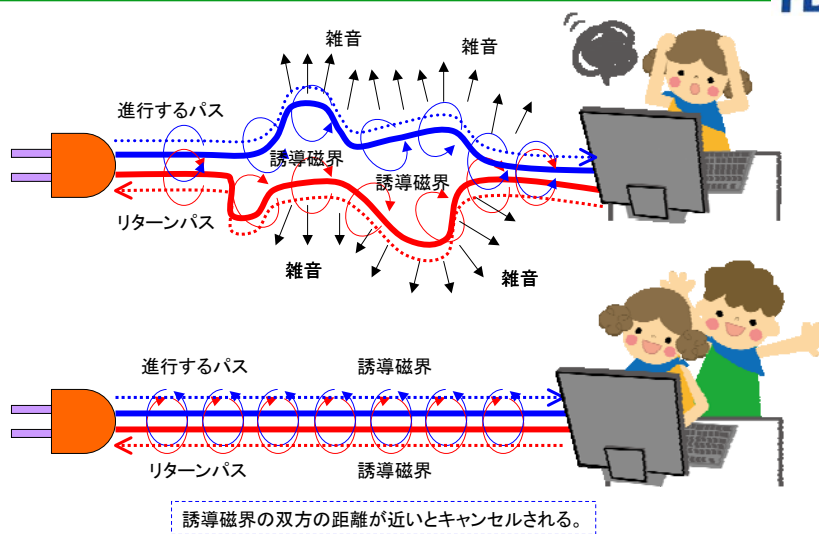


2017年6月15日

31

## AC 100V 電源ケーブル

TDU



2017年6月15日

32



## 平衡伝送ケーブル

TDU



AC 100V 電源ケーブル



スピーカー用ケーブル



昔のTVアンテナ用ケーブル

300Ω リボンフィーダー

300Ω 端子の例



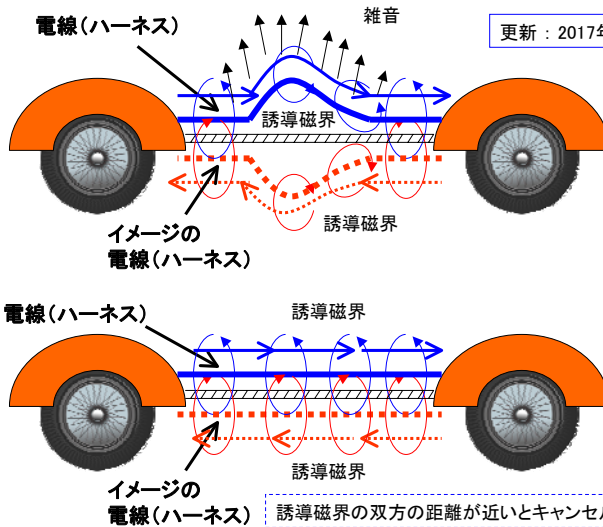
ツイストペア ケーブル

2017年6月15日

33

## 自動車内の電線(ハーネス)の配線

TDU



更新: 2017年6月30日

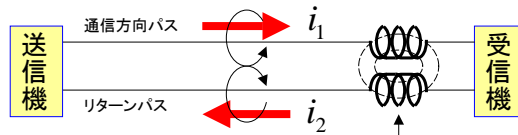


2017年6月15日

34

# コモンモード雑音対策

TDU



$i_2 = -i_1$  に強制的になるようにトランスを入れる。



2017年6月15日

35