

高速デジタル・データ伝送入門

第2回 デジタル信号の伝わり方

志田 晟
Akira Shida

はじめに

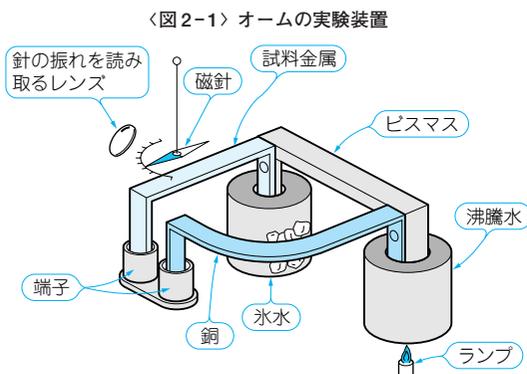
すでに一部のパソコン用マザー・ボードに搭載され始めたシリアル ATA では、1本の信号線を通る電気信号が1.5 Gbpsになっています。今回は、このようなパソコン周辺のデータ伝送をいくつかを例にとり、最近のデジタル伝送では伝送速度がギガ・ビット/秒の世界に入ってきていることを説明しました。

このような超高速デジタル信号伝送を従来のデジタル設計の感覚で取り扱おうと、誤動作に悩まされたり、信頼性の低い設計をしてしまう可能性が大きい。高速デジタル信号を誤動作なく伝送するには、電気信号が線路上をどのように伝わるか、物理的な面にも踏み込んで十分に理解する必要があります。

今回は、直流電流からギガ・ビット/秒オーダの信号まで、その流れ方を説明します。

オームの実験と電流

オームの法則は、19世紀始めにドイツ人のオームによって導かれました。抵抗 R の電線の両端に一定の電圧 E を加え続けているときに、一定の電流 I が流れる ($I = E/R$) という法則はあまりにも有名です。



〈図2-1〉 オームの実験装置

● オームの実験

図2-1は、オームの実験装置の概要です⁽¹⁾。この実験装置では、氷と沸騰水に異種の金属接点を入れ、熱起電力を使って安定した電圧を得ています。これは、それまで電流の実験に使っていた電池が不安定だったためです。

オームはこの実験装置から、電流が試料の長さ(抵抗)に反比例するという関係を導き出しました。この法則は1827年に発表されましたが、後の大法則も当時のドイツでは「実験結果だけで理論がない」と無視され、14年後にやっと英国で認められました⁽¹⁾。

● 電流はマイナス電子の流れである

図2-1でわかるように、当時は線路を流れる電流を、線路のそばに置いた磁針の振れで測定していました。しかし電流の実体が当時はわからず、電流は「プラスの電気」が流れるとして方向が決められてしまいました。「マイナスの電気」をもつ電子が金属内で電流を運ぶとわかったのは、原子の構造が判明した20世紀に入ってからです。

しかし、現在でも電流の方向は電子の流れとは逆向きに定義されています。

電流の種類

電線を伝わる電気信号も電子が流れて運ぶのでしょうか？ それを考える前に、まずは電流について復習しておきましょう。電流には対流電流、伝導電流、変位電流があるといわれます。

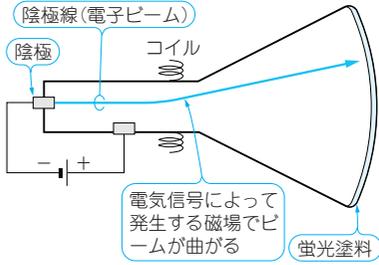
■ 対流電流

● ブラウンの発明とトムソンの実験

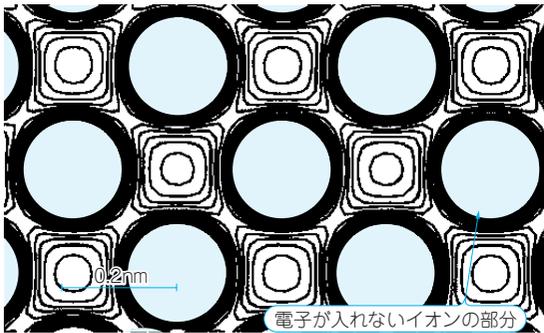
テレビなどに使われる陰極線管(CRT: Cathode Ray Tube)は、もともとは電気信号の変化を映像として見るためのもので、1897年にドイツのブラウンが発明しました。発明者にちなんで、ブラウン管とも呼ばれます。

ブラウン管の仕組みを図2-2に示します。管の内

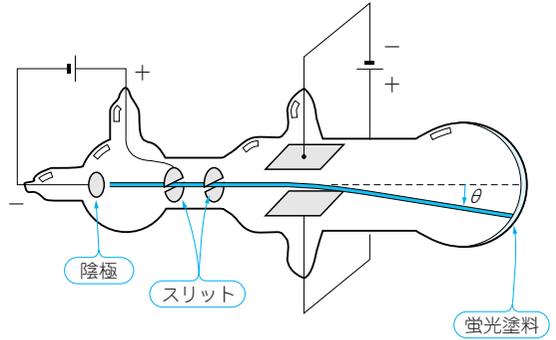
〈図2-2〉⁽³⁾ ブラウン管の仕組み



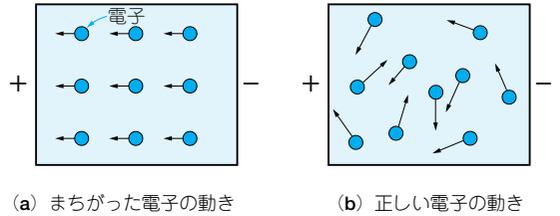
〈図2-4〉⁽⁵⁾ 銅金属内部の電子密度



〈図2-3〉 電子を発見したトムソンの実験装置



〈図2-5〉⁽⁷⁾ 電圧が加わっている金属内の電子の動き



部は真空で、+と-の電極があり、一面に蛍光材が塗られています。途中に置いたコイルで、ビームの方向を変えます。ブラウン管の内部では電子が真空中を走り、蛍光塗料に当たって光ることで像を映し出します。

ブラウンの発明と同じ1897年に、英国のトムソンが同様な構造の実験装置を使って電子を発見しました⁽³⁾。図2-3は、トムソンの実験装置を簡単に示したものです。ビームの方向を変えるために、向かい合わせた金属板(偏向板)に電圧を加えています⁽⁴⁾。アナログ・オシロスコープのCRTはこれに近い構造です。

● 対流電流とは空間中を電子が走ること

CRTのように、電子が空間を走って流れる電流を対流電流と呼びます。このとき、電子の速度は次式で表されます⁽²⁾。

$$v = \sqrt{\frac{2eV}{m}} \dots\dots\dots (2-1)$$

ただし、 v ：電子の速度 [m/s]、 e ：電子の電荷 (-1.6022×10^{-19}) [C]、 m ：電子の質量 (9.1096×10^{-31}) [kg]、 V ：電極間の電圧 [V]
式(2-1)から、電極間の電圧を大きくすると、電圧の平方根で速度が増加することがわかります。電圧が1Vのとき約 6×10^5 m/sです。また10kVで約 6×10^7 m/sとなり、光速(3×10^8 m/s)の1/5程度になります。

■ 伝導電流

● 金属の内部はどのようになっている？

図2-4は、銅金属の電子密度です⁽⁵⁾。規則正しく

並んだ円が、原子核を中心とするイオンの部分です。また、その周囲の等高線のようなものは間隔が詰まっているほど電子の密度が高いことを示しています。

原子には、原子核に直接束縛されずに金属内を移動できる自由電子があります。この自由電子は、電子密度が低い部分を移動します。

● 伝導電流とは導体内を流れる電流

電線など導体内を電子が移動して流れる電流は、伝導電流と呼ばれます。では、伝導電流はどのように流れるのでしょうか。

常温下では、金属イオンは周囲の熱で激しく振動しています。そのため導体内の自由電子は、ランダムに振動する金属イオンに阻まれ、CRTの中のように自由には進めません。そのため、金属内の電子は電圧が加えられても図2-5(a)のようにまっすぐ進まず、図2-5(b)のようにジグザグに動きます。

● 伝導電流はとても遅い

図2-6のような、断面積1mm²の銅線を流れる伝導電流を考えてみます。1mm³の銅金属の中には、移

〈図2-6〉 断面積1mm²の銅線

