

さあ、ほくたちもグラハム・ベル ～140年前のフォトフォンを100円ショップで作る～

慶應義塾大学 山中直明
Naoki Yamanaka

今、皆の読んでいる本は“通信ソサイエティ”というところのマガジン（雑誌）です。この通信ソサイエティには、大学生の人から90歳になるおじいさん・おばあさんまで1万人ものメンバーがいます。そのメンバーは、“通信”を専門としているのですが、このページでは“通信”を理解してもらうのと同時に、皆も知っているグラハム・ベルの作ったフォトフォン（光糸電話）について説明しましょう。

1. グラハム・ベル

アレクサンダー・グラハム・ベル（Alexander Graham Bell）は1847年にスコットランドで生まれた科学者でもあり、発明家でもあります。電話を発明したことは皆も知っていますよね。グラハム・ベルが電話を発明するに至った理由は、お母さんが聴覚障害だったことです。家族はお母さんと話すために手話を勉強したり、顔のひたいに口を当ててしゃべると聞こえる（現在の骨伝導会話）をやっています。これが彼が「音」に興味を持つことになる大きな要因です。グラハム・ベルは1876年にこの電話での通信に成功しています。そのとき、「ワトソン君、用事がある、ちょっと来てくれたまえ」と通信したことは有名です。彼は1年後の1877年にベル電話会社を創業しており、研究だけではなく、ビジネスマンのように社会への普及にも大きな貢献をし

ています。

1880年には、今日の話でもあり、光通信の最初と言われる光電話（フォトフォン）の実験を行っています。

2. 光通信の基本原則

糸電話を思い浮かべて下さい。図1に光通信の基本原則を示しました。人間はしゃべった声が耳で聞こえます。その間、距離を取るために電線や光といった伝送媒体を通して遠方まで伝えられます。送る方を送信機、受ける方を受信機といいます。図のA点とB点は音声と同じ波形である必要があります。でも、A点とB点間は元に戻ればどのような形でも、どのような手段（媒体、例えば糸、電線、光ファイバ、空気）でも構いません。

送信機の原理を簡単に述べます。まず、声は空気の振動であることは皆も知っていますよね。

大きい音＝大きな振幅

小さい音＝小さな振幅

高い音＝周波数が高い（周期が短い）

低い音＝周波数が低い（周期が長い）

振幅と周波数を図2で示します。

空気中で声がちょっと複雑な波形をしています。それは声がいろいろな周波数のいろいろな大きさの信号が

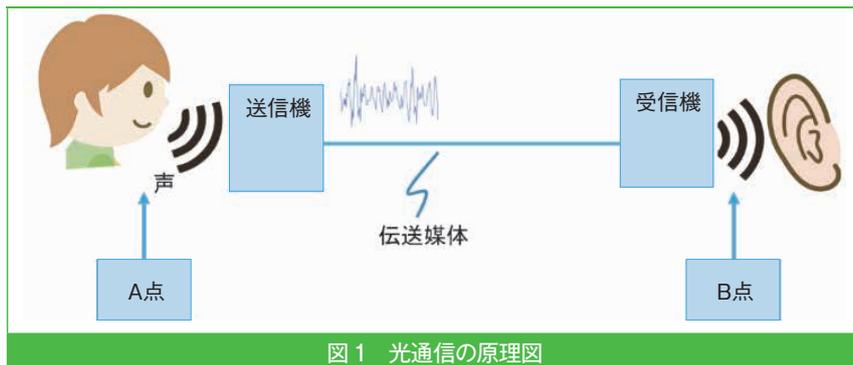


図1 光通信の原理図

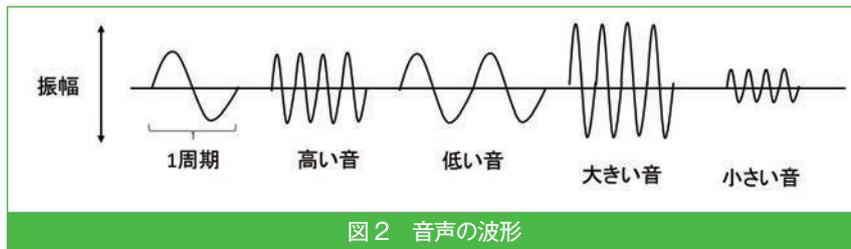


図2 音声の波形

重なり合っているからです。電話を思い浮かべて下さい。電話は、電線の上を電圧と同期を変化させた電気信号が伝搬されます。空気を通して伝わった声の「音」は、変調器で電気信号（例えば0～5V）の周波数と振幅に代わって伝わります（図3）。受信機ではその逆に、電気の信号から「音」に変換されます。

3. デジタル伝送を勉強してみよう（参考）

フォトフォンはアナログですが、今日皆さんが使っている電話はデジタルです。ここでは参考としてデジタルについても学んでみましょう。

デジタルは0.1とかの数字であるということは知っていますよね？ では、この声というちょっと複雑な信号（アナログ信号という）をデジタルで送る方法を勉強してみましょう。

図4にアナログの信号をデジタルにする方法を示しました。アナログ信号は周期的に大きさが変化していきます。それを一定の周期でのアナログ信号の電圧（振幅）を測定します。これをサンプリングと言います。

測定するデータは7.2Vとか細かい数字ですが、それをここでは四捨五入で7とします。それを量子化と言います。デジタル信号を元のアナログに戻すときには

7.2Vには戻りません。7Vのままです。これは誤差（量子化誤差）となります。

7Vという信号は2進数に直すと0111、3Vは0011というデジタルの信号になります。例では、7、7、6、3、3、5という信号列になります。伝送路では、0111 0111 0110 0011 0011 0101

という信号列になっています。オシロスコープで見ると図5のように1と0を繰り返して伝送されます。

4. フォトフォンの原理

さて、デジタルの原理も分かりましたので、元の話、フォトフォンについて説明します。

グラハム・ベル（図6）は、2.で勉強した光通信の実験としてフォトフォンの実験をしたことは前にも述べました。グラハム・ベルは太陽の光を鏡で反射して、送信しています。これは2.で示した送信機の変調で、声

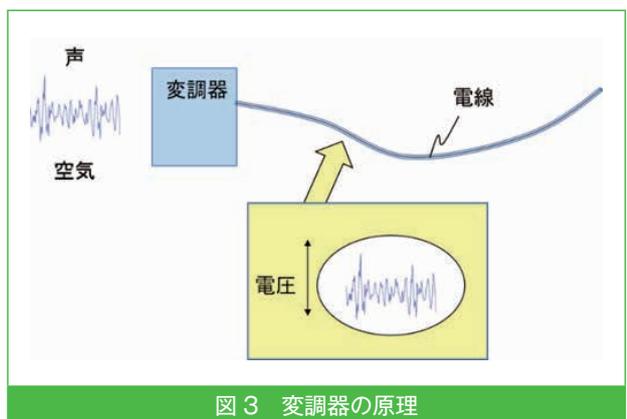


図3 変調器の原理

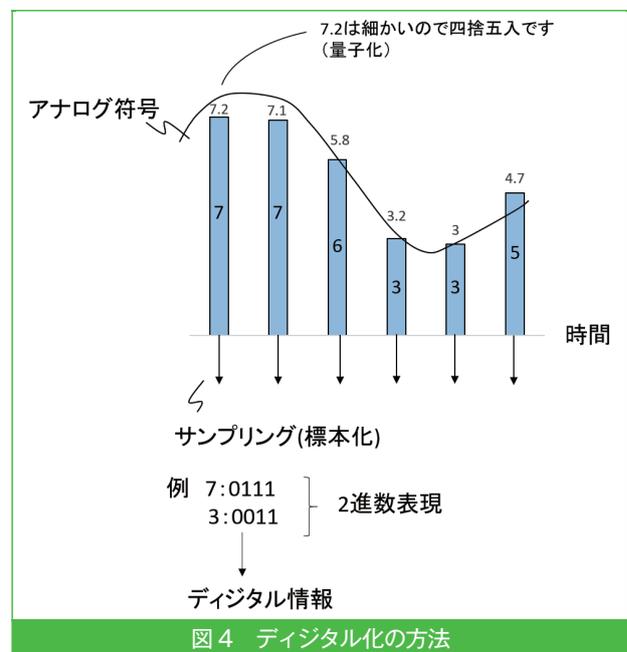


図4 デジタル化の方法

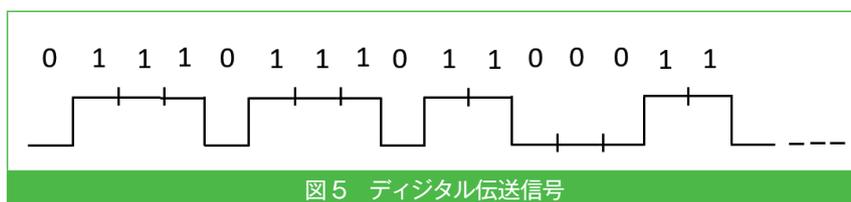


図5 デジタル伝送信号

の振動を光の強度に変化を与えて、伝送しています。受信機はセレン (Se) を用いた光電変換素子で光の信号を電気を通して受信しています。グラハム・ベルは、この光を電気に変換する材料や原理の特許を多数持っています。

5. 光糸電話 (フォトフォン) を 100 円ショップの材料で作ってみよう

「光糸電話を作ろう。」これは「フォトフォン」を現在の 100 円ショップの材料で作ることを目指しています。図 7 のように、プラスチックカップに、マドレーヌ用のアルミカップを付けて送信機にし、懐中電灯を当て、しゃべると、2. で述べたように、光が強度変調されます。強度変調された光は受信機の小形ソーラーパネルに到達して、電圧信号に変換されます。受信機のソーラーパネルの両端はイヤホンジャックを介してラジカセのマイク端子に接続され、電圧信号はラジカセで増幅されてスピーカで相手の声として聴くことができます。応用としては、太陽の光を鏡で集光したり、パソコンのマイク

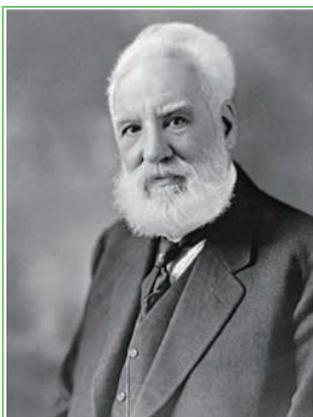


図 6 アレクサンダー・グラハム・ベル

に入れて録音したりとそれぞれ楽しむことができます。つまり、今まで述べてきた“通信”そのものです。

それでは、作り方を具体的に説明していきます。図 8 を見て下さい。まず、口に当てておしゃべりする送信機の作り方を説明します。送信機はプラスチックカップの底にマドレーヌ用のアルミカップを接着したものです。まず、プラスチックカップの底の平たい縁を残してはさみで底を切り取ります。このとき、はさみで切りやすいようにカッターナイフで十字の切込みを入れておくとよいです。(手を切らないように注意してね。)

このマドレーヌのアルミカップが声で震えて、光を“変調”します。

次に、机の上にカップの底を上にして置き、残した平たい縁に接着剤を塗ります。最後に、マドレーヌ用のアルミカップを机の上に置き、プラスチックカップを逆さにしてアルミカップの真ん中に置いてそっと接着します。このとき、力を入れて置くとアルミカップの平らな底にしわが付いてしまうので、そっと置くことがポイントです。

続いて、受信機の作り方を説明します。図 9 に示したように、まずは 100 円の電卓を分解して、ソーラーパネルを取り出し、紙コップの底に付けます。具体的には、100 円電卓の接続ねじを小形十字ドライバーで外して基盤を引き出し、ソーラーパネルの両端のリード線を付けたまま、基盤と接続している所をニッパーで切り、取り出します。ソーラーパネルを取り出した後は、ねじを締め、元の電卓の形に戻します。100 円電卓は、ソーラーパネルとバッテリーの両方から電源が供給されているため、ソーラーパネルを外しても、バッテリーの電池がなくなるまで使うことができます。私は、このソーラーパネルを買いに行きました。お店では 1,200 円以上したのですが、100 円ショップの電卓だと 100 円でできます。

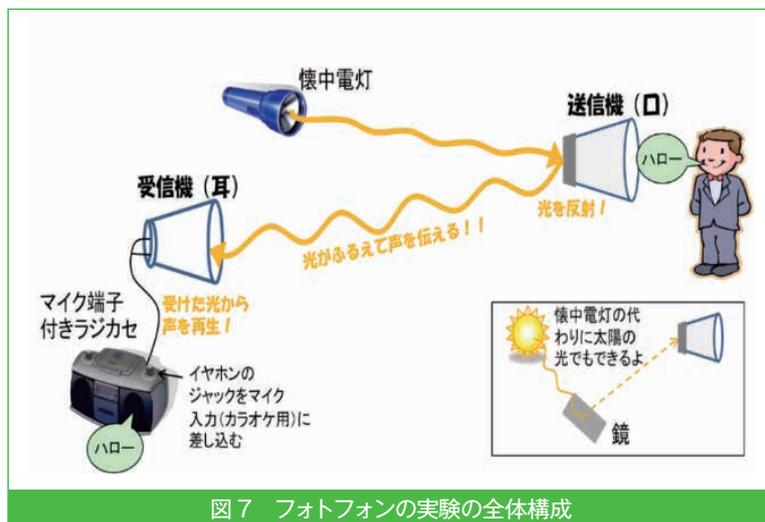
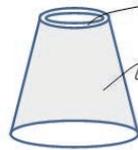


図 7 フォトフォンの実験の全体構成



完成!



①ふちを残してカッターナイフかはさみで切る
プラスチックのコップ
・大きい方がよい
・やわらかな(ペコペコな)方がよい

②残したふちにボンドをつけて、アルミ製マドレーヌの型を貼りつける
(注)マドレーヌの底の平面が崩れないよう、コップをそっとマドレーヌカップに置く。鏡のようにきれいにしておこう!

図8 プラカップとアルミカップによる送信機の作り方

次に、紙コップの底にソーラーパネルを付けるため、小形ドライバで底にソーラーパネルのリード線を通す穴を2か所空けます。そして、そこから約2cmの所を紙コップの貼り合わせの二重になっている所を残して、カッターナイフで切り開きます。次に、先ほど取り出したソーラーパネルを光が受けられるようにリード線を穴に通し、両端をセロハンテープで底に取り付けます。このとき、ソーラーパネルの光を受ける面を手の脂や汗で汚さないようにすることがポイントです。そして、切り開いた紙コップを元の形へ戻し、切れ目にセロハンテープを貼って、紙コップを元の形へ戻します。

次に、ソーラーパネルのリード線の両端のピニールが覆っている所を約1.5cm、ワイヤストリッパ(0.3mmの所)で取り除き、むき出しとなった銅線を紙やすりで数回こすります。この作業をしないと、はんだの付きが悪く、ラジカセで聞く声の音質が悪くなってしまいます。

続いて、図10のように、受信機のソーラーパネルの

両端をイヤホンのジャック端子を使ってラジカセのマイク端子に接続できるようにします。具体的には、100円のイヤホンのイヤホン側をニッパーで切り、切り口から5cmくらいをリード線2本に裂き、切り口から約1.5cmのピニールがかぶさっている所をワイヤストリッパ(0.3mmの所)で取り除き、むき出しとなった銅線を紙やすりで数回こすります。

最後に、ソーラーパネルを付けた紙コップの底の裏面から出ている2本のリード線に、イヤホンの2本のリード線をよじってからはんだ付けをします。このとき、はんだごての先と、はんだとからめた銅線の三点が一緒になるようにして、からめた銅線の下から上に移動させるとはんだがきれいにのってくっつけることができます。はんだをはんだごての上で溶かしたり、はんだごての上に溶けたはんだを乗せるのは間違いです。はんだごてはとても高温なので、やけどをしないように十分に気を付け、大人と一緒に作業をして下さい。はんだを使えるよ

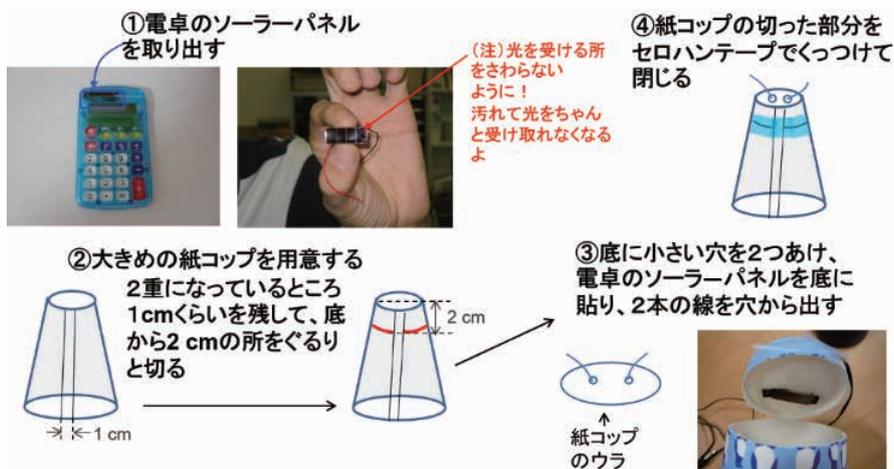


図9 受信機の作り方(その1)

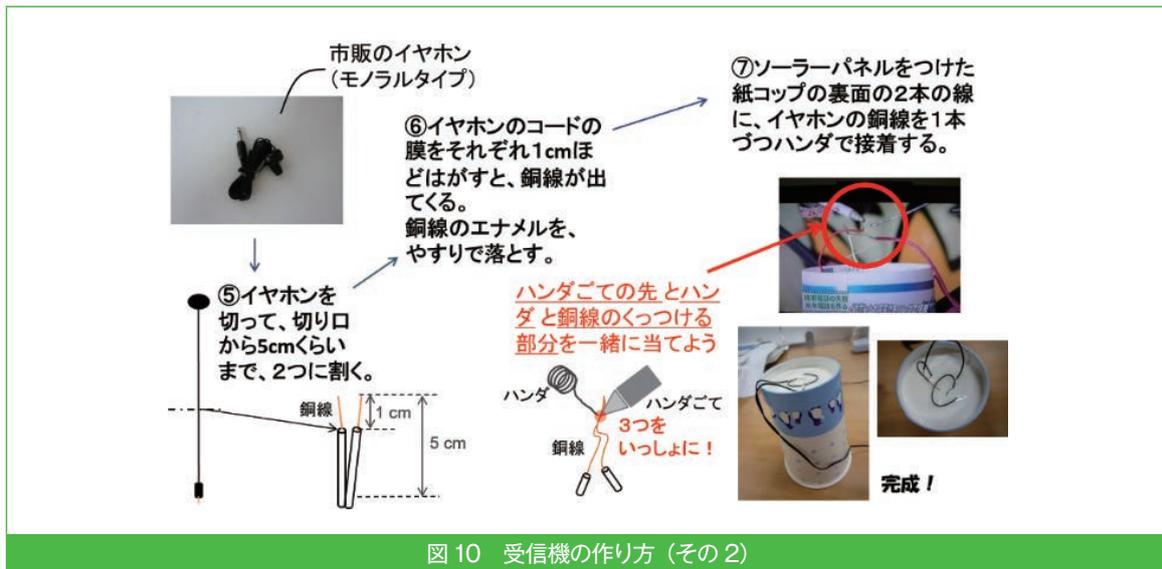


図10 受信機の作り方 (その2)

うになると、他の電気工作も楽しくできますよ!

それでは、送受信機が完成したので、動作確認をしましょう。図11に動作確認の様子がありません。検証のポイントは、懐中電灯の光を送信機のソーラーパネルで受けられるようにすることです。これが慣れないと、うまくできません。また、場所により蛍光灯からの雑音で音質が悪くなることがあるので、そのときは照明を消して、雑音を抑えることをお勧めします。(昔の蛍光灯は50Hzの交流電力線の電気の雑音が出ます。新しい蛍光灯はインバータなのでこの雑音がありません。)

6. おすび

電子情報通信学会は、ジュニア会員という新しい仲間を迎えました。この記事を書いた私も40年前とか50年前、皆さんと同じぐらいの年だった頃は化学と物理が好きでした。高校の化学室に行って、酸素供給剤(過塩素酸カリウムだったでしょうか)をもらって水中花火の元を作っては遊んでいました。(今では危ないと言われてできないかもしれません。)

この記事では歴史、原理(理論)、そして実験を説明しました。特に原理と実験は対になっている大切なことで、大学の研究も、この対となっている原理と実験を一生懸命やっています。この頃はPoC(Proof of Concept)といって、自分のアイデアや原理をちょっとだけ作ってみるプロトタイプが重要視されています。



図11 動作確認の様子

とにかく、新しい科学のそばにいて、興味を持って見てみる。そして君たちの中から未来の科学者、研究者、技術者がどんどん出るのを期待し、そして応援します。

山中直明 (正員:フェロー)

1983慶大大学院理工学研究科修士課程了。同年日本電信電話公社(現NTT)入社。1991工博取得。フォトリックネットワーク等のネットワーク制御技術の研究開発を行う特別研究員を務め、2004から慶大教授。IEEE Fellow。

