電波で信号が届くことと通信のしくみのデモンストレーション例
―小学5年生程度以上へのアンテナとOFDMでの例―

中村博文[1]

An Example of Demonstration of How Signals are Delivered by Radio Waves and How Communication Works
―An Example with Antennas and OFDM to About 5th Grade of Elementary School and Above―

NAKAMURA Hirofumi[1]

（令和7年1月8日受理）

あらまし　そもそも電波がどういういうものかと、スマートフォンなどでデータが電波を使ってどのように送られるかについて、科学イベントで小学5年生程度以上大人までを対象に原理の一端を1回30分弱でデモンストレーションした例を報告する。具体的には、4年生までで磁石や電気を用いた実験を経験済みで5年生で横軸が時間で縦軸を表すグラフに慣れつつあることを前提に、電波に関して、磁石が鉄片を引き寄せるのは目に見えないが砂鉄の筋で分かるように磁界というものがあり、磁界で鉄が磁化してそれと磁石が引き合うことや、静電気で下敷きが紙片を引き寄せるのは目に見えないが下敷きの－（マイナス）に向けて電界というものが生じていて紙片に＋（プラス）と－が生じてそれと引き合うことを理解の通過点として、双極アンテナ（共振はしていない）による電界があるときに追加した双極アンテナに電気が生じること、送信側で＋と－を継続して変えると受信側に連続して電気が生じること、双極アンテナを用いた実験による確認、スマートフォンなどで使われている通信方式OFDM（直交周波数分割多重）に関して、波形のかけ合わせ、届いた信号と受信側で用意した波形の周波数が同じ場合のかけ合わせ結果はならすと非ゼロであり、異なる場合はならすとゼロであること、実験で、送信側周波数を変えて確認、文字符号の例を紹介し複数の周波数で送っても受信側の波形と同じ周波数のデータだけ受け取れることの確認などである。実験を含め提示のみではあるが本校の科学イベントで参加者の殆どが集中して視聴された。

キーワード　[科学イベント，出前授業，小学生，電波，OFDM]

1　はじめに

電波は直接見ることができないものの身の回りで様々な活用がなされており、通常はどういうものかを全く知らなくても目に見える物的な機器や部品の機能を信頼して活用している。身の回りにブラックボックス状態の機器や技術は多い。本稿は電波と通信について、つまり、そもそも電波がどういういうものかということと、スマートフォンなどでデータが電波を使ってどのように送られているかの一端

1 都城工業高等専門学校一般科目　General Education Division, National Institute of Technology(KOSEN), Miyakonojo College

について、本校の年１回の『おもしろ科学フェスティバル』(1 日で、原則校内で開催。令和５年度は９月 10 日(日)開催。小中学生が主対象。）というイベントで、実験を通して現象を確認して感じて頂けないかと考えたデモンストレーション例の報告である。

筆者は本校専攻科の全専攻必修の科目で通信の仕組みに触れることがある。例えば、OFDM（直交周波数分割多重）やOFDMA（直交周波数分割多元接続）である。その前提部分として電波についても触れている。これまで全くの座学であるが少しでも学生達に、手作業の参加はなくても、実験で確かめる要素を含めたいとの気持ちはずっとあって、準備ができれば時間に応じて活用したいと考えている。さかのぼると筆者が十代でラジオやワイヤレスマイクの原理的な回路をいくつか組んだことはあったもののその時点では電波がどのようなものか殆ど分かっていなかったことへの解答のひとつの切り口である。

本稿で電波やOFDM等を解説することは省く。

２　本デモンストレーションにおける方針等

概ね以下の方針のもと、内容を構成した。関連している状況も併せて記している。

・出展の１回ごとのデモンストレーションの時間を 25 分から 30 分を目安にして、内容を大きく次の 4 つから構成する。①信号が電波で届くことの確認（原理の一端)、②送信側のデータを電波で受信側に届けられることの確認（OFDM の原理の一端)、③おまけとしてアンテナの長さや磁気などへの言及、④①と②の一部の内容の振り返り。ここの①と②はあとでも通し番号で表す。③は時間調整用でもある。以下で③はおまけと記す。

　令和５年度は来校者がイベントに参加できる滞在時間が午前午後とも 2 時間 30 分であった。その中の 30 分弱を占めてしまうことは、この出展への参加を難しくする面はあるが、このくらいの時間が必要と考えた。

・電波は直接目に見えない。参加者が確認するための表示内容として受信側の電圧波形を用いる。

　それは次の理由による。通信を前提にしたときに通常は送信側には電気信号があり受信側も電気信号をもとに処理している。また、電波の信号を確かめる装置は筆者が知る範囲では電気に変換して働いている。

　受信側への集中や説明時間の短縮のために送信側での表示は省く、つまりしないことにした。

・電波は電界と磁界が相互に作用しているものであるが、電界を中心に説明する。

　但し、磁石による鉄片引き寄せと静電気による紙片引き寄せを参加者の理解の通過点にして、電界にだけ注目して電気が生じることや交流を用いることを説明する。

　このようにしたのは、筆者には所属学会や Web での検索で 25 分程度で可能なシナリオを探し当てることができなかったためである。

・主として電界で電波を説明するが、電気信号が送信用アンテナから受信用アンテナに伝わっていくことと、途中の電界の変化が電波であることは、省かずに説明と実験をする。

・対象を小学５年生程度以上とする。

　おもしろ科学フェスティバルは保護者同伴の小学生の参加も多い。本稿の出展に折角参加して頂いたからにはある程度分かって帰って頂くために対象学年の目安を明らかにしておく。

　以下のことを考慮して対象を小学５年生程度以上とした。それは、参加者への提示方法として波形のグラフを用いるため、小学５年生であれば横軸が時間、縦軸が強さのようなグラフにある程度慣れつつあると期待できること、小学４年生までに磁石、電磁石や電気を使った実験を経験していることである。なお、同伴して一緒に聞かる保護者全員にこの前提は対等ではないかもしれないが、何か説明を添えることはしない。

・この出展への参加者が具体的に手を動かす部分は時間的制約から設けられないが、検出信号や計算結果は実験のたびに確認のためにほぼリアルタイムでパソコン画面に提示する。

・実験は、煩雑さを減らすために、①と②とでできるだけ共通の機材や部品で行う。

　異なる機材を用いるとその説明に多少でも時間を要するが、それを省く意味もある。

　②で OFDM の原理に触れる際にリアルタイムで実験を行うには処理が遅れてはいけない。高周波ではリアルタイムに処理ができる機材を筆者は用意できない。5kHz 程度の信号であれば、パソコンの音響インタフェースで十分取り扱える周波数であり、パソコン上のプログラムでほぼリアルタイムで計算処理や表示ができ、何よりも、左右数メートルの双極アンテナ（勿論、共振はしない）を送受信で至近距離で用いると送信側がパソコン（当日はパソコンの調子の都合で送信側はタブレットに移行）の音響出力からでも受信側アンテナに信号があることをパソコンの音響入力で充分感知できたため、この辺りの周波数を用いた。

　立派な機器を用いると参加者にとって電波ではなくて「機器がすごい」ということになる可能

性があるが、珍しくなくなったパソコンを用いることでより電波に注意して頂けるという面はあると思っている。

・準備や時間の都合でOFDMの実験で送信は3波までをパソコン1台で､受信は1台で1波のみとする。
・出展タイトルは来校者が参加する気持ちになるものが望ましいが一方で勘違いされないことを心がける。『電波と通信を実験で確かめよう』とした。小学生には気難しいタイトルに感じられるかもしれないが、参加者本人や保護者の方が出展タイトルを見てこの出展に参加されるので、この出展への参加者には期待と同時に若干の聞く覚悟を期待できると考えている。
・用語は細かい使い分けはせず、電波、電気、磁界、電界、アンテナ、ノイズ、かけ合わせなど最小限に留める。電圧、帯電、周波数、ミリ秒、OFDM（直交周波数分割多重方式）、双極アンテナは用いない（都度の若干の補足やおまけで一部例外あり）。電気という言葉は、電気の強さ、電気が生じる、電気が流れるなどのように便利に使う。
・初歩的な一部の用語の解説や関連した内容を記した配布資料を持ち帰り用に用意する。
・双極アンテナ近傍の電界優勢は話題にしない。

本稿の出展の実験で磁界に触れないのは電界優勢に該当している（例えば、電子情報通信学会：知識の森, 4群－2編－2章, “アンテナの基礎”, https://www.ieice-hbkb.org/files/04/04gun_02hen_02.pdf, p.17, 本稿のURLは全て2024年9月時点）ためであるが話題には含めない。

3　本デモンストレーションに用意するもの

3.1　送信側のコンピュータプログラム

送信側用のプログラムは音響端子に次の波形を出力する機能を持たせた：4kHz、5kHz、6kHzの正弦波を1秒間、3種類の文字コードを周波数をそれぞれ4kHz、5kHz、6kHzと違えて各ビット0.1秒で計0.8秒間。以上を画面上のボタンでひとつでも同時に複数でも送れる。

プログラム作成において波形の作成と音響出力に既知の方法[1)]を活用した。

3.2　受信側のコンピュータプログラム

実験内容の表示は共通のレイアウトの画面表示で行う。使わないものも含め、右側の3区画の横軸の幅は0.7秒分、左側は1ミリ秒分である。どれも縦軸は信号の振幅や演算結果の値である。

上段は音響入力の表示であり、右側の区画では時間経過に伴ってほぼリアルタイムで表示内容を左側に移動する。ノイズが多い場合にノイズによっては振幅の変化が見られる。

中段以下はOFDMの話題に移ってから使用する。

中段左枠は OFDM において受信側でかけ合わせる5kHzの正弦波の表示で、どの実験でも表示は変えない。中断右枠は未使用で今後への予備の枠である。下段右枠は入力と 5kHz の波形とのかけ合わせを短い時間で平均化した絶対値を振幅とした0.7秒分の表示である。入力に合わせて表示内容を左側にリアルタイムで移動する。OFDMでは正弦波と余弦波を使い分けるが、この実験では、タイミングを合わせた正弦波のかけ合わせの短い時間での平均化の代わりに、かけ合わせを正弦波及び余弦波について行い、その各値の2乗和の平方根を求めて短い時間で平均化した値で代用している。プレゼンテーションではこの辺りの詳しいことには触れず、単にかけ合わせた結果として話している。下段左枠は短い時間でのこのかけ合わせの値を確認用で表示しているものであるが、プレゼンテーションでは触れない。

プログラム作成においてパソコンの音響インタフェースの扱いや波形表示に既知の方法[2)]を活用した。筆者の理解が追い付かず、画面表示の右側の枠の時間幅を分かりやすい1秒間にはできないままである。

既知の方法[1),2)]を活用した送信側や受信側の以上のプログラムはどなたにでも参考にして頂ける形の整理ができないため公開は控える。

3.3　その他

マイクはパソコンの音響端子に直結できるものを用いた。

パソコンの音響端子とその他を結ぶために、パソコン側は格安のイヤホンの一部をカットして充てた。タブレットを用いた際は音響端子にイヤホンをつなぐためのコードを付加した。アンテナ部分には家庭用のアルミホイルを用いた（**5**に記した2つのイベントでは順に､左右共約6mの双極アンテナ2つを間隔1m弱で配置、左右共2m強の双極アンテナ2つを間隔50㎝程度で配置）。これらをつなぐためにワニロクリップ付きのリード線を用いた。パソコンからパソコンに直結する場合は、470kΩの電気抵抗を挟んだ。これによって、信号の強さに合わせてプログラムに手を加えることが省けた。

縦笛または横笛を用いる際は指でふさぐ穴の全てをセロハンテープか何かでふさいで用意する。周波数を測れるスマートフォンアプリ（SkyPaw 社の Toolbox PRO）を準備したが、参加者の前で測定する時間は設けられなかった。

卓上型の電波時計を中のコイルが見える状態に開けて用意した。ラジオでも可である。電波腕時計のコイルを見られる形で準備できるとよりよい。

実験での受信側のパソコンへの信号は弱いため、そのパソコンを表示用のプロジェクターにつなぐと多くの場合にノイズの影響を大きく受けた。このため、スライド提示用のパソコンを別個に用意した。

４　デモンストレーションの内容と配布物

表１にデモンストレーションの内容の概要を示す。対応するスライド等のページ（頁）番号も記している。その 18、20、25、27 の所は、スライドではなく、実験時のパソコン画面での表示内容である。

デモンストレーションで用いるスライド等の例を図１に(スライド 27 ページの右下枠ははめ込みによる本稿でだけのイメージ画像)、その提示の際のシナリオ例を表２に、配布資料の例を図２に示す。なお、これらには次の実施を想定した修正を含む。

おもしろ科学フェスティバルでは開催日前から全出展のあらましを本校の Web ページで公開している（Web ページでは「テーマの紹介（詳細)」と表記されている。出展毎に A4 判１ページである。本稿の出展において、内容は、図２と殆ど同じである。)。この行事では、小学生向けに使用漢字に配慮することになっている。小学５年生以上で習う漢字を原則ルビ付きかひらがな表記とした（筆者は、オレンジ工房：“小学校で習う漢字チェックツール” http://orange-factory.com/tool/kanjicheck.html で確認した)。参加者への配布資料は準備のしやすさからモノクロである。

表１　スライド等の順序と触れる事柄

頁	触れる事柄（参加者に初めて用いるタイミングの把握のために用語の初出は太字)
1	タイトルなど、**電波**
2	あらましの説明と断り（以下のほぼ全スライドで上部に同じ形式の目次を挿入)
3	あとで使う流れるグラフに関して事前に予備的な説明
4	入れ替わりする信号（交流）に慣れるための例示
5, 6	磁石で鉄が引き寄せられること、目に見ないが砂鉄の筋で分かるように**磁界**というものがあること、鉄が磁化して磁石と引き合うこと
7, 8	静電気で下敷きに紙片が引き寄せられること、それは目に見えないが下敷きの－（マイナス)に向けて**電界**というものが生じていて、電界で紙片に＋（プラス）と－が生じてそれと引き合っていること
9 ～ 13	電気をかけると直接つながっていない金属に電界で電気が生じること、送り側で交互に＋と－を切り替えると受け側で継続して生じた電気を使えること、**アンテナ**
14	実験の説明：送り側の信号を直接つないで受信側に伝わること
15	ノイズを説明
16, 17	実験の説明：送り側の信号を直接つなぐと受信側に伝わること、外すと伝わらないこと
18	実験：表示等で一緒に確認
19	実験の説明：直接つながっていなくても送り側の信号がアンテナで受信側に伝わること
20	実験：表示等で一緒に確認
21 ～ 24	波形の**かけ合わせ**、待ち構えていた周波数と同じ周波数で送っているとそのことが分かること、待ち構えていた周波数と異なる周波数で送っているものは存在が分からないこと
25	実験：表示等で一緒に確認
26	文字コードの説明と実験の説明
27	実験：表示等で一緒に確認、ひとつや複数の文字コードを異なる周波数で送って、待ち構えていた周波数と同じ周波数の送信符号だけが得られることも
28	以下は 41 まで時間に合わせて適宜省く 今日の実験が効率の悪い短いアンテナを使っていたことの前振り
29, 30	先をふさいだ笛の長さを音の高さから見積もれること、時間があれば実験を含めて確認
31, 32	市内の AM ラジオ放送用の送信用アンテナの高さを放送周波数から同様に見積れること
33	地上デジタル放送用の手作りアンテナは広げてハンガーくらいの大きさであること
34	今日の実験が効率の悪い短いアンテナを使っていたこと
35 ～ 37	電気が流れると磁界が生じること 磁界でも信号が伝わること **コイル**で受信できること
38	電波を波のように書くことがあること
39 ～ 41	電波が伝わっていくこと その間に向きが変わること
42 ～ 44	ふりかえり： 厳選して２枚
45	参考文献
46	終了の意味でタイトルページを表示

５　実施状況

まず、令和 5 年度の第 10 回おもしろ科学フェスティバルでの実施に関して述べる。

おもしろ科学フェスティバルでは来校者にアンケート協力が依頼されている。以下、本校学生課教務係より集計情報の使用許可を得て記す。

来場者数は午前午後の子供と保護者を合わせて852 人で、アンケートへの回答者数（但し、兄弟等複数人をまとめた回答も1人として計数。以下も同様。）は 85[24]人であった（角かっこ内は以下も小学5年生から中学3年生と分かる回答者の人数)。

各出展を評価する設問としておもしろ科学フェスティバルについて唯一「特にどのブースが楽しかったですか。」という尋ね方で23件の出展の中から複数選択可能な設問がある。それによると、本稿のデモンストレーションの出展への選択は3人（小学2年生、5年生、回答者唯一の大人）であった（出展あたりの平均は13人､1人当たりの選択出展数は3.6であった)｡本稿の出展への参加者は日中5回の実施で少なくとも25人程度であった｡これらの比率からは、本稿のデモンストレーションはアンケート設問の「楽しかった」という表現にそのまま合致するものではないもののアンケート回答時に比較的高率で脳裏に浮かぶ程度に印象深いものであったとは言える。なお、本稿で参加者と表記しているが、他の出展の殆どがいわゆる参加型であるのに対して、本稿の出展は実験を含むものの視聴のみであるのは大きな相違点である。また、持ち帰り物品もない。強いて挙げるとA4判1枚の資料のみである。

理解度について参加者に都度尋ねていないがスライドも実験中のパソコン画面も殆どの参加者が注視されていた。保護者からは時々終わってから質問があった。

次に、もうひとつの出展例である。令和5年度は市立図書館横のまちなか広場で11月19日(日)に本校等主催で開催されたKOSENまちなか科学フェスティバル（おもしろ科学フェスティバルを小規模にした校外開催の行事。この日は半日）で機会があり同様の内容を出展した。通りがかりでも予約なく参加可能であった。この出展には子供から大人まで6人程の参加があった。アンケートの実施はなかった。筆者も尋ねていない。参加者は説明や実験を注視されていた。このときも質問が保護者からはあった。

6　今後に向けて

反省点や懸案を記す。

・1回あたりを25分程度で終えるつもりであったが途中を予定よりやや詳しく説明したり、結線替え時のミスや接触不良に気付くのに多少時間を費やしたり、時間調整用のおまけをうまく端折らなかったりで30分近くになることがあった。
・振り返りを時間的に入れられないことも多かった。
・途中や最後で納得具合を尋ねて確認をすることも時間的にできなかった。
・デモンストレーション毎の直前の準備時間を事前の計画段階で念のため切りのよい 30 分単位で取ったため、デモンストレーションの回数が午前 2 回、午後3回になった。実際には接続変更程度で済むように準備できたため、当日に予定変更をしてでももう少し実施回数を増やすべきであった。
・おもしろ科学フェスティバルでは協力学生を募ることができ筆者も開催毎に数人に依頼していたが、この出展については筆者による予備実験や関連プログラムの作成やシナリオの確定が間に合わず出展を取りやめる可能性もあったため募集は避けた。状況を説明して募集してもよかった。
・参加者への配布資料が筆者の不手際で午前中はできなかった。
・クイズ形式や参加者の全員または一部が手を動かすような参加部分の創出は課題である。

7　おわりに

科学イベントで電波がどのようなものかと通信で使えることとの一端を体感して頂くことを目的として行った 30 分弱でのデモンストレーション例について報告した。実験も含め視聴のみであるが子供と保護者の参加者の殆どが集中して視聴された。

本稿は2024年度(第77回)電気・情報関係学会九州支部連合大会発表[3)]をもとにまとめたものである。

謝辞

おもしろ科学フェスティバルへの出展やアンケート情報使用に支援や協力を頂いた方々に感謝します。

参考文献

1) @isseium: JavaScript で Beep 音を鳴らす方法, http://qiita.com/isseium/items/12b215b6eab26acd2afe
2) voice-change-o-matic: https://mdn.github.io/voice-change-o-matic/
3) 中村博文: 電波で信号が届くことと OFDM の小学5年生以上への実演例 ―都城高専おもしろ科学フェスティバルにおいて―, 2024 年度電気・情報関係学会九州支部連合大会（第 77 回連合大会）講演論文集, 11-2P-01, p.429, 2024

1

でんぱ　つうしん
電波 と 通信 を

じっけん たし
実験 で 確 かめてみよう！

2

はじめに じしゃく でんぱへ じっけん つうしん じっけん おまけ１２

でんぱ かつよう
電波 の 活用 はいろいろとある

●しかし、そもそも、電波とは
目に見えない 電気とかんけいが深い

じょうほう
● 情報 を送る
今使われている方法からひとつ

・実験(じっけん)を入れて３０分
・電気(でんき)と磁気(じき)のうち、おもに電気にだけ注目
・用語も数式も少なめに
・人類の歴史(れきし)をたどらない

●おまけ

3

はじめに じしゃく でんぱへ じっけん つうしん じっけん おまけ１２

今日使うグラフについて

気温変化

じっさいは
０．７秒はば や
千分の1秒はば

4

はじめに じしゃく でんぱへ じっけん つうしん じっけん おまけ１２

行ったり来たりのくり返しをしているときに多いのは
たとえば ばね、ブランコ、水ヨーヨー などで

普通のグラフでかくと

せいげんは
(正弦波)

電気もこれをきほんにすることが多い
ということは、電波も

5

はじめに じしゃく でんぱへ じっけん つうしん じっけん おまけ１２

さんこう じしゃく
参考

S
N

鉄はくっつく

なにがおこっているか

6

はじめに じしゃく でんぱへ じっけん つうしん じっけん おまけ１２

さんこう じしゃく
参考

なにがおこっているか

S
N
N
S

(磁界(じかい))

7

はじめに じしゃく でんぱへ じっけん つうしん じっけん おまけ１２

せいでんき
静電気

下じきをこすって、小さい紙きれをひきよせられる

なにがおこっているか

8

はじめに じしゃく でんぱへ じっけん つうしん じっけん おまけ１２

せいでんき
静電気

なにがおこっているか

下じきをこすって、小さい紙きれをひきよせられる

電界(でんかい)
＋からや、－に向かう
電気のはたらき

紙きれ中の＋と－が動く －がわへ＋、反対がわへ－

9

はじめに じしゃく でんぱへ じっけん つうしん じっけん おまけ１２

きんぞく でんき
２つの 金属 に 電気 をかけたら

じつは、すこーしながら、わずかに電気がたまる
目に見えないが、＋から－に向かう電界(でんかい)

10

はじめに じしゃく でんぱへ じっけん つうしん じっけん おまけ１２

きんぞく でんき
２つの 金属 に 電気 をかけたら

ここで、さらに、２つの 金属 をよういしたら つづく

11

はじめに じしゃく でんぱへ じっけん つうしん じっけん おまけ１２

きんぞく でんき
２つの 金属 に 電気 をかけたら

さらに、２つの 金属 を用紙したら、＋と－が生じる

電気が使える でもわずか、すぐなくなる どうするか

12

はじめに じしゃく でんぱへ じっけん つうしん じっけん おまけ１２

どうするか ＋と－を入れかえる

これも電気として使える わずか、でも繰り返せばよい

13

はじめに じしゃく でんぱへ じっけん つうしん じっけん おまけ１２

どうするか ＋と－を入れかえる

←送り側
電界(でんかい)
アンテナ
←受け側

電気として使える わずか、でも繰り返せばよい

14

はじめに じしゃく でんぱへ じっけん つうしん じっけん おまけ１２

でんき しんごう ちょっけつ
電気 の 信号 を 直結

15

はじめに じしゃく でんぱへ じっけん つうしん じっけん おまけ１２

その前に

ノイズ
しんごう
ほしくない 信号 のこと

じつは、あたりまえにある

16

はじめに じしゃく でんぱへ じっけん つうしん じっけん おまけ１２

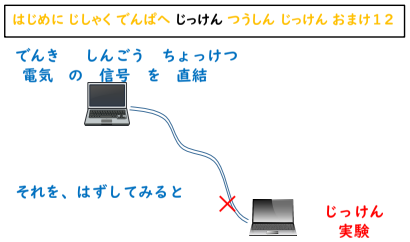
でんき しんごう ちょっけつ
電気 の 信号 を 直結

１秒間に５千回というのは
スピーカにつなげたら
音として聞こえる。
今日は電気や電波に集中する
ために、聞くのははぶく。

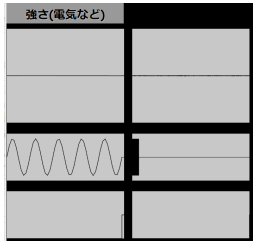
じっけん
実験

図１スライド等の例　(1) その 1/46～16/46

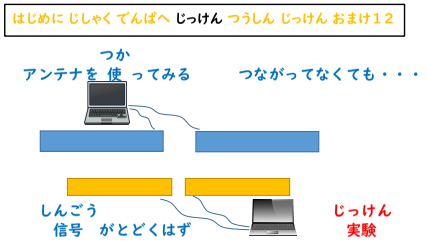
17



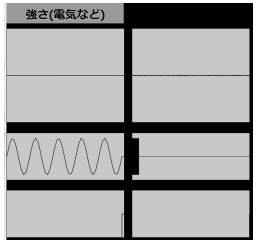
18



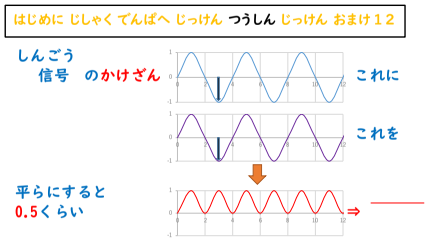
19



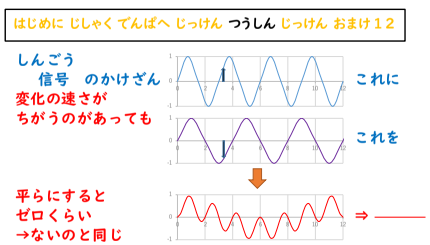
20



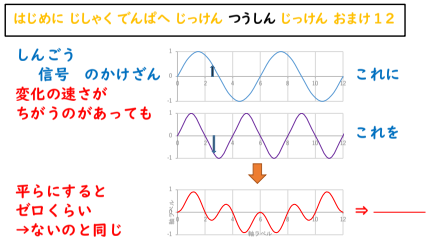
21



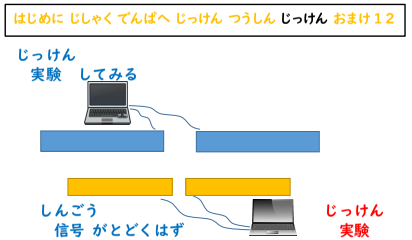
22



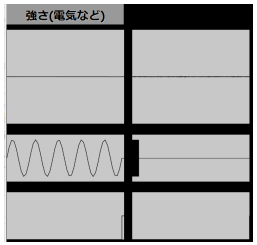
23



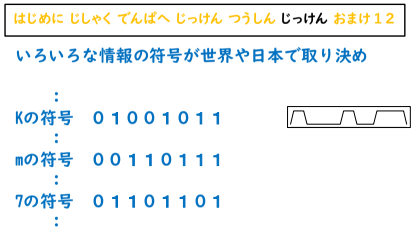
24



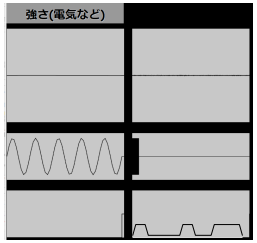
25



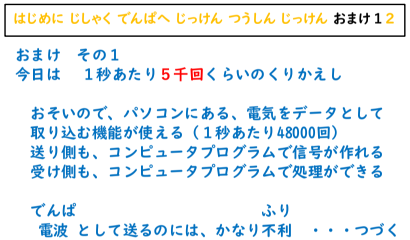
26



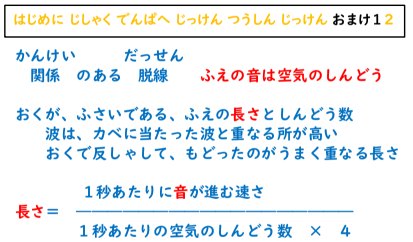
27



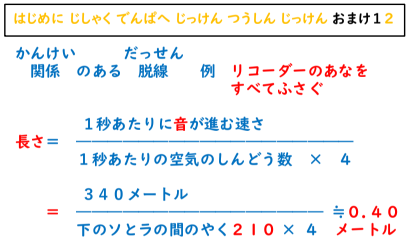
28



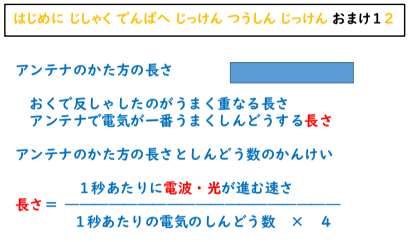
29



30



31



32

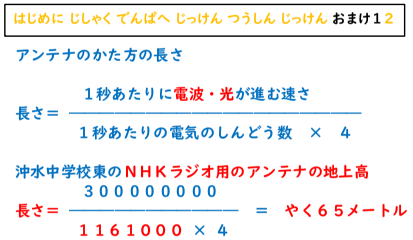


図１　スライド等の例　(2) その 17/46～32/46

33

はじめに じしゃく でんぱへ じっけん つうしん じっけん おまけ１２

アンテナのかた方の長さ

長さ＝ １秒あたりに電波・光が進む速さ ／ １秒あたりの電気のしんどう数 × ４

地上デジタル放送のアンテナのかた方の長さ

長さ＝ ３００００００００ ／ ５００００００００ × ４ ＝ 約０．１５メートル

広げてハンガーくらい

34

はじめに じしゃく でんぱへ じっけん つうしん じっけん おまけ１２

アンテナのかた方の長さ

長さ＝ １秒あたりに電波・光が進む速さ ／ １秒あたりの電気のしんどう数 × ４

今日のしんどう数は５千回くらい さいてきな長さは

長さ＝ ３００００００００ ／ ５０００ × ４ ＝ １５キロメートル

約６メートルでがんばった

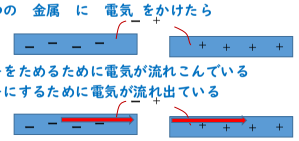
35

はじめに じしゃく でんぱへ じっけん つうしん じっけん おまけ１２

おまけ その２

きんぞく でんき

２つの 金属 に 電気 をかけたら



＋をためるために電気が流れこんでいる

ーにするために電気が流れ出ている

36

はじめに じしゃく でんぱへ じっけん つうしん じっけん おまけ１２

おまけ その２

電気が流れているので、磁界(じかい)ができる （小５）

電気が流れる向きがしんどうするので、

磁界(じかい)の向きもしんどうする

（でんかいの変化でもじかいが変化（高校など））

つまり、電波(でんぱ)は電界(でんかい)も磁界(じかい)も変化

37

はじめに じしゃく でんぱへ じっけん つうしん じっけん おまけ１２

ところで、磁界(じかい)が変化すると電気が発生する （中２）

というせいしつがある

（金属をはったうけがわのアンテナには、これも

かんけいがあるが、今日はふれない）

金属をはったアンテナではなく、

コイル(電線をまいたもの)で受けると小がた化できる

例 AMラジオ、電波時計、電波腕時計

（電波時計では、１秒あたり６万回や４万回）

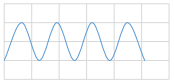
ここでラジオのコイル部分を提示

38

はじめに じしゃく でんぱへ じっけん つうしん じっけん おまけ１２

向きを変えるのをくり返しをしている

普通のグラフでかくと （ブランコ）



せいげんは

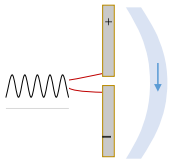
（ 正弦波 ）

電気もこれをきほんにすることが多い

ということは、電波も → 波 → 波の絵

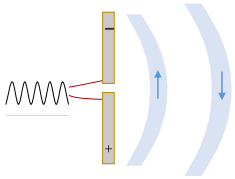
39

はじめに じしゃく でんぱへ じっけん つうしん じっけん おまけ１２



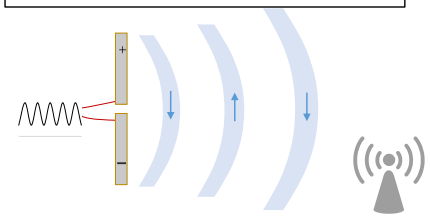
40

はじめに じしゃく でんぱへ じっけん つうしん じっけん おまけ１２



41

はじめに じしゃく でんぱへ じっけん つうしん じっけん おまけ１２

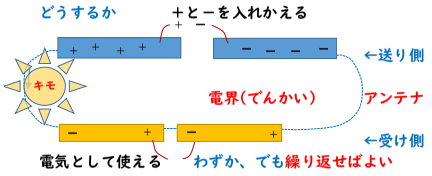


42

ふりかえり ２まい

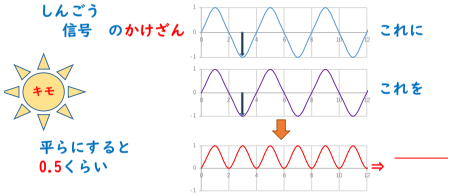
43

はじめに じしゃく でんぱへ じっけん つうしん じっけん おまけ１２



44

はじめに じしゃく でんぱへ じっけん つうしん じっけん おまけ１２



45

プログラム作成における参考文献

- 波形作成に関して
  @isseium, JavaScript で Beep 音を鳴らす方法:
  http://qiita.com/isseium/items/12b215b6eab26acd2afe
- 音響インタフェースの扱いと波形表示に関して
  github voice-change-o-matic:
  https://mdn.github.io/voice-change-o-matic/

46

でんぱ つうしん
電波 と 通信 を

じっけん たし
実験 で 確 かめてみよう！

図１ スライド等の例 (3) その 33/46～46/46

表２　出展等での進行例　(1) その 1/3

以下、３０分弱毎の１回分の内容。

以下で、■印はスライド切り替えやスライドを用いた進行、●印は実験用表示画面での進行、★印は判断や状況に応じた進行。( ) 内は追加指示。丸かっこは、重要ではないという意味ではないので、注意。丸かっこ内の最初が◇印なら、時間に応じて話す内容。同じく△印なら、基本省く内容。[ ]内はレーザポインタやマウスポインタ等での指示箇所。//印の右側はメモで、必ずしもプレゼンテーションに含めない事柄である。

■１　(始まる前からタイトルを表示しておく。)
(実験表示用のパソコンも信号なし状態で表示しておく。)
椅子にかけてお待ちください。
スクリーンも使いますが、このパソコン画面も使います。
パソコンのグラフが見えやすい席でお待ちください。
★「椅子は動かして頂いて構いません。」

(時間が来たら) 今日はお越し頂きましてありがとうございます。『電波』と通信を実験で確かめることについて始めます。
★「お子さんが対象の言葉遣いが多いです。了承ください。」
(スクリーンを指して) まず、スクリーンを使います。
■２　電波がいろいろと活用されていることは知っていると思います。
その電波について、今日は２つだけ確認していきます。
[指示して] そもそも電波がどういうものか。電波は目に見えませんので、代わりの方法で一緒に確認したいと思います。
[指示して] それと、スマホで現在使われている通信の方法のひとつです。
３０分弱かかります。//おまけを大きく間引いて 25 分以内になるようにした方がよい。
[指示して] 電波は、電気と磁気の両方の働きですが、ここでは主に電気について話します。
用語や数式は少なめにします。
電波についての人類の歴史とは違う流れで話を組み立てています。おまけも話します。
■３　まず、準備として、あとで使うグラフについてです。
時刻ごとに気温を計った [上の方] こんなグラフは見たことがあると思います。★反応を見る。
今日は [下の方] こんなグラフを使います。
それは、７時の過去の３時間、８時の過去の３時間、９時の過去の３時間というようなグラフです。
ここでは横に３つ並べていますが、ひとつの画面で表示しますので、左に流れるように表示します。
(△時間的に可能ならこの時点でも受信側のパソコン画面で：[パソコン画面右側] このパソコンのこのグラフでは、横が０.７秒くらいです。[右のグラフの左側] ここの千分の１秒分を拡大して、[パソコン画面左側] 左に表示します。左は横幅が千分の１秒です。スライドに戻ります。)
■４　行ったり来たりの繰り返しになっているものをいろいろ知っていると思います。
例えば、ブランコや、水ヨーヨーの動き (◇や、バネのはかりで目盛が落ち着くまで) です。
普通のグラフで書くと、右に時間が進むにつれて、上がったり下がったりするようなグラフになります。
この形は、自然にも人が作ったものにも、よく出てくるので、名前が付いています。今日覚えなくてもよいですが、正弦波といいます。
電気もこれを基本にすることが多いです。電波は電気と関係が深いですので、電波もです。
あとで、何回も出てきます。
■５　今日は磁石のような磁気には注目しませんが、後の参考のために見ておきます。
磁石に鉄はくっ付きます。知っていますね。離れているのに何か働いています。
(◇不思議ですが念力だと思う人はいませんね。)
(◇この時に何が起こっているのでしょう。)
もう少し詳しく確認します。
■６　[写真を指して]右の写真は、紙の上に砂鉄をまいてから、紙の下に磁石を近づけて撮ったものです。
[砂鉄の模様複数に沿って動かしながら]何かこんな風に働いています。
今日は覚えなくてもよいですが、これを『磁界』と言います。
こっちの図は、磁界の一部を線で書きました。
磁界があると鉄はNに近い側にSが、反対側にNができます。
磁石のNと鉄のSとで引き合うのでくっ付くわけです。
１０円玉のような銅は、SやNが生じないので、くっ付きません。
目には見えませんが、こんなことが起きていたわけです。
電気も似ています。//類似点を使うが微視的には全く異なる。
■７　まず、静電気です。
今日は、静電気でバチっと放電するのは扱いません。
下敷きなどでこすると紙切れのような小さいものがくっ付くのは知っていますね？★反応を見る。
このとき何が起きているでしょうか？★反応を見る。
さっきの磁石の磁界と似ています。
■８　＋やーがあると『電界』というのができます。
＋から出たり、―に向かってできます。//写真があるとよい。
電界があると紙切れの中で電気が移動します。ーに近い方に＋が、反対側にーができます。
(◇詳しい人のために話しますと、マイナスは電子ということではなくて電気を表しています。＋も電気を表しています。)
下敷きのーと紙切れの＋とが引き合うわけです。
目には見えませんが、こんなことが起きていたわけです。
■９　２つの金属を用意して電気をかけたらどうでしょう。
電気をかけると、静電気の時のように、目に見えませんが、＋の側には＋の電気が、ーの側にはーの電気が少したまります。
今日はアルミホイルで大きく作っていますが、小さく作っても必ず少しはたまります。
この時に、目には見えませんが、＋からーに向かって電界ができています。[レーザポインタでその辺りをなぞる。]
■１０　これに、更に、２つの金属を置いたらどうでしょうか？
さっきの静電気から予想がついた人もいると思います。
[右の追加導体を指して] 右のここは＋に近いのでーが来て、反対側に＋がたまります。
[左の追加導体を指して] 左のもここは＋に近いのでーが来て、反対側に＋がたまります。
[中央側を指して] ここに＋とーがあります。この電気は使えます。でも、使うと、少しなのですぐなくなります。
左の＋と右のーだけになります。
すぐなくなるのを (△「NHK 大河ドラマのどうする家康じゃないですが」) どうしたらよいでしょうか？(△「家康に聞いてみましょうか？」)
■１２　[上の供給側辺り]ここの＋とーを入れ替えてやります。電界の向きが変わりますので、[右の追加導体を指して] 右にあったーが左へ追いやられます。[左の追加導体を指して] 左にあった＋が右へ追いやられます。
[２つの追加導体の間辺り] ここの＋とーが使えます。使うと、少しなのでまたすぐなくなります。
気づいている人もいると思いますが、[上の供給側辺り]ここの＋とーを繰り返し入れ替えてやると、[２つの追加導体の間辺り] ここで少しですがずーっと電気を使うことができます。
■１３　送り側と直接つながっていないのに、[２つの追加導体の間辺り]ここに電気を生じさせることができていて、[空間

表２　出展等での進行例　(2)その2/3

部辺り］ここで何度も入れ替わっている電界が電波です。
（◇今日は磁気の話は飛ばします。）
［上のダイポール］電波を発生させる部分も、［下のダイポール］電波から電気を生じさせる部分も、『アンテナ』と言います。
カッコ良く言うと［上のダイポール］こちらは送信用アンテナ、［下のダイポール］こちらは受信用アンテナです。
今日はアルミホイルで大きく作っています。（用意したものを指して）向こう側と、こっち側です。//イヤホンの平行線式のコードを割いて作成したダイポールは受信側で電力が足りなかったため、次に得やすかったアルミホイルで作成した。
■１４　実験で確かめる内容です。//スライドで実験を確認
まず、電波は使わずに直結で信号を送るのを試します。
■１５　話を進める前に、ノイズについてです。
欲しくない信号も入り込みます。それをノイズ（◇とか、音でなくても雑音）と言います。
ここにも実験に関係ないいろいろな電波が来ていますし、周りにいろいろな電気製品もありますので、ノイズは当たり前にあって、今日もそれがびっくりするくらい入り込みます。
■１６　今日使う電気の信号は、＋とーを１秒当り５千回位繰り返します。//スライドで実験を確認
ピンと来る人もいるかもしれませんが、５千ヘルツです。ということは、音なら人に聞こえます。
実際にスピーカにつなぐと聞こえます。
でも音を出すと電気と電波に集中できなくなりますので、今日は音は鳴らしません。//十分時間があるなら鳴らしても可。
■１７　はずすと当然信号は伝わりません。//スライドで実験を確認
アンテナを使うと、途中はつながっていなくても、電波で信号が届くはずです。
以上を実験してみます。（△マイクは音を電気に変換の説明。）
●１８　（マイクをパソコンに繋いで）今、受け側のパソコンにはマイクが繋いであります。表示はプログラムでしています。しゃべると、このように信号として来ているのが見えます。
このあとも電気を見るこの機能を使います。
今度は送り側のパソコンを繋ぎます。★イベントにおいては「スライドでは送り側はパソコンですが、パソコンの調子の都合でタブレットを使います。」と進めた。実施時に同様の場合、以下での「パソコン」は適宜「タブレット」と読み替え。//関連プログラムを JavaScript で作成したことが幸いしてプログラムは修正なく使用できた。
（△「信号が強いので弱めるために電気抵抗というのを挟んでいます。」）（△「470kΩ とかいうものです。」）
まだ送り側のパソコンから信号を出していませんが、何か見えます。これはノイズです。
（電源アダプタを繋いでいる状態で）今電源アダプタを繋いでいますが、はずすと、（外して）こんな風に減ります。
（◇パソコンや繋いでいる機器の状態によって、ほとんど違わない場合もあります。）
実はプロジェクターで大きく表示したかったのですが、もっとノイズがひどいので、今日はこのパソコン画面を使います。

まず、グラフの説明をします。左のグラフは幅が千分の１秒です。
真ん中は＋とーが１秒あたり５千回変わる信号の例を表示しています。この幅が千分の１秒ですので、5回上下しています。
今から、１秒あたりに５千回変わる信号を８秒程送ります。
★操作して５ｋＨｚの信号を送る。
ノイズも大きいため上下していますが、千分の１秒に５回山がありますので、確かに１秒あたりに５千回変わる信号を受け取っています。★何度か繰り返す。
もう一度送ります。確かに来ています。
★操作して６ｋＨｚの信号を送る。
今度は１秒あたりに６千回変わる信号を送っています。千分の１秒に６回山がありますので、確かに１秒あたりに６千回変わる信号を受け取っています。
（線を外して）線を外すと信号は来ません。
（時間があれば、同様に４ｋＨｚでも。）

■１９　今度は、アンテナを使ってみます。
●２０　★繋ぎ変える。５ｋＨｚの信号を送る。
まず、１秒あたりに５千回変わる信号を送ります。
千分の１秒に５回山がありますので、確かに１秒あたりに５千回変わる信号を受け取っています。（参加者と一緒に確認しながら）直接はつながっていません。さっき説明したように電波で伝わったわけです。
目に見えませんが、電気で電界が生じてそれで電気が生じていて、それを今見ているわけです。
（時間があれば、同様に６ｋＨｚや４ｋＨｚでも。）

■２１　次に通信について、現在スマホなどで使われている技術のひとつを確認します。
話を進める前に、波型（なみがた）のかけ算についてです。
[中段のグラフ]真ん中のグラフが受け側で待ち構えている信号と思ってください。
[上段のグラフ]上のは、くり返しの速さが同じのを送り手が送っていて、それが受け側に届いた信号と思ってください。
かけ算は縦方向です。０×０は０、１×１は１、０×０は０。
真ん中より低いのと低いのが１というのはまだ知らないかもしれませんが、矢印で書いてみたときに同じ方向ならプラスにすると思ってください。（◇中学で習うマイナスの計算です。）
途中も全部やった結果が[下段のグラフ]下の段です。凸凹がありますが砂場で凸凹をならしたとすると０．５の高さです。繰り返しの速さが同じ波形の『かけ合わせ』は、高さがゼロではないということだけ覚えておいてください。
■２２　次は、くり返しの速さが速いのを送り手が送っていてそれが届いた場合です。[上段のグラフ]上の段です。
さっきと同じように縦方向にかけ算をした結果が[下段のグラフ]下の段です。
０とかけているのは０、この辺りは１位と１位で１位という感じです。凸凹がありますが凸凹をならすと高さは０です。
待ち構えているのと繰り返しの速さが違うとき、かけ合わせをならすと無いのと同じになります。

■２３　★このスライドは残時間に応じて適宜。
くり返しの速さが遅いのを送った場合もやってみます。届いたのが上の段です。
縦方向にかけ算をした結果が下の段です。０とかけているのは０、この辺りは１位と１位で１位という感じです。
これも、凸凹がありますが凸凹をならすと０です。
繰り返しの速さが遅くても待ち構えているのと違うと無いのと同じになります。

あとで実験しますが、一緒にたくさん送っても、待ち構えているのに合わせて送ったものだけが伝わります。
つまり、混ざり合わないで通信ができます。これが第４世代以降のスマホで使われている技術です。未来の第６世代でも使われていきます。
■２４　実験をします。
●２５　★送信側を操作。５ｋＨｚの信号を送る。
送る側は１秒あたりに５千回変わる信号を送ってみます。
ノイズがありますが、[左上のグラフ]左のグラフで分かるように千分の１秒に５回山があるのが電波で届いています。
待ち構えているのは１秒あたりに５千回変わる信号です。
[右下のグラフ]三段目右はかけ合わせた結果です。さっきの、

表２　出展等での進行例　(3) その 3/3

ならしてゼロでないとかゼロとか説明した値のグラフです。
信号が送られている間は上に上がっています。//同期させて sin と cos を区別するのが本来であるが、sin と cos 両方のかけ合わせ結果の２乗和の平均を表示。プレゼンからは省く。
また送ってみます。
★送信側を操作。
[右下のグラフ]信号が送られている間は上に上がっています。

次に１秒あたりに６千回変わる信号です。
★送信側を操作。
[左上のグラフ]ノイズがありますが、左のグラフで分かるように千分の１秒に６回山があります。
[右下のグラフ]三段目右はかけ合わせた結果です。
待ち構えている信号と繰り返しの速さが違うのでかけ合わせた結果はほとんどゼロです。
■２６　次に実際のデータを送ってみます。
文字は世界中で符号が決まっています。
★パソコン画面で一時的に文字コードをややおおきく表示。
見慣れないと分かりにくいですが、例えば、K は、世界中で０１００１０１１です。今覚える必要はありませんので、難しく考えなくていいです。
例えば、信号を、０はなし、１はありで、なし、あり、なし、なし、あり、なし、あり、ありとすれば表せます。
ここでは、１秒あたりに５千回変わる信号を、これに合わせて、１０分の１秒ずつで送ることにします。
送ります。
●２７　★送信側を操作。
１秒ごとに送っています。
ノイズで分かりにくいですが、[左上と右下のグラフを適宜]千分の１秒に５つの山がある間電波が来ていて、かけ合わせた値が大きくなっています。
短い盛り上がりが２つあって、その後に少し長い盛り上がりがあり、K を送っていることが分かります。
今度は１秒あたりに６千回変わる信号で別の文字を送ってみます。確かに、時々、[左上のグラフ]千分の１秒に６つの山があります。しかし、[右下のグラフ]かけ合わせた値はほとんどゼロのままです。
両方そして４千回のも混ぜ合わせてみます。変わる速さが待ち構えているのと違う信号も来ているのに、それは無いのと同じことになっています。★できたらＫが受かるのを再確認。
つまり、大勢が混ざり合わないで通信ができます。
これが現在の（◇第４世代以降の）（◇次の第６世代でも使われる）スマホで使われている技術です。

続いて、おまけです。
■２８　★時間によってこのページは飛ばす。
使ったのは１秒あたり５千回位のくりかえしの信号でした。
携帯の電波の繰り返しは１秒あたり１０億回位ですので、それより相当ゆっくりです。
ゆっくりなため、今日は電波を受けながら、普通のパソコンのプログラムで、処理したり表示ができました。
でも、ゆっくりなのは電波としてはかなり不利です。そのことを話します。
■２９　関係のある脱線です。//実際は絵があった方がよい。
お風呂で壁に向かって手で波を作ると、はね返ります。くり返す速さを調整すると、手の所の波が高くなります。
音は空気の振動です。（◇ドよりもレの方が振動は速いです。）
穴と奥がふさいである笛から出る音の振動数と、笛の長さは数式で表せます。
詳しくは高校の勉強にまかせますが、お風呂と同じで、音が当たって戻るのが次の振動とうまく合う長さです。
★適宜式を読み上げ。

■３０　★アルトリコーダー不使用なら適宜下記内容を修正。
★鳴らすなら、予め指で押す穴は全てふさいでおくこと。
リコーダーの指で押す穴を全てふさいでいます。
これはアルトリコーダーですので、ファの音です。端をふさぐとぴったりではないですが大体１オクターブ下がります。
下のソとラの間位でした。★時間によっては吹いて測る。
その振動数は、今朝測ったら、１秒あたり２１０回位でした。
式に当てはめると、４０センチメートルです。実際測ったところ４１ｃm位でした。ほぼ合っています。
アンテナも似ています。
■３１　電気が端で反射してきたのが、これから送る電気とうまく重なるのが電波として出やすい長さです。//おおざっぱ。
速さは電波や光は１秒あたり約３億メートルです。//30 万 km
■３２　例です。高専の北東の沖水中学校の近くにNHKとＭＲＴのラジオの送信アンテナがあります。//図もあるとよい。
NHKラジオ第一は１１６１キロヘルツと言われています。１１６万１千回です。これを当てはめると高さは約６５メートルと計算できます。//複数波や４分のλでない事情は情報不足。
■３３　★このページは時間があれば
地上デジタル放送の例として５百メガヘルツ、つまり５億回で計算すると１５ｃmです。手作りの目安として、左右に広げてハンガーくらいの大きさです。//実物を用意できるとよい。
（△「本校のオープンキャンパスや学園祭で時々展示していることがあります。そのときは行ってみてください。」）
■３４　今日ここでは１秒あたり５千回でした。当てはめると、最適な長さは片方だけで１５ｋmとなります。実際は６メートルずつでしたので良くない条件で頑張ったと言えます。//インピーダンス整合もねぐった。
■３５　もうひとつです。
電気をかけて電気がたまりますので、そこに電気が流れます。
■３６　電磁石というのを聞いたことがない人もいるかもしれませんが、電気が流れると、磁界が生じます。
＋と一が繰り返し入れ替えていますので、磁界も変化します。
■３７　もうひとつ、初めて聞く人もいると思いますが、磁界が変化すると金属には電気が起こります。
（◇金属を伸ばしたアンテナに、これも関係がありますが今日は省きます。）
金属を伸ばしたアンテナではなくて電線をまいた『コイル』というもので済ませることもできます。小型化ができます。
★ラジオや卓上電波時計を開けてバーアンテナが見えるようにしたものをひとつかふたつ提示して。
★「これは電波時計のものです。」「これはラジオのものです。」
電波腕時計はもっともっと小さいものが入っています。
■３８　これは、さっきも見たグラフです。
波が伝わっていくときの形にも似ています。電波の絵は水面の一か所を繰り返しゆすったような絵を使うこともあります。
■３９～４１　★時間がなければ飛ばす。
電界は光と同じ速さで広がります。1 秒間に 30 万キロメートル、言い換えると約3億メートルです。その間に電界の向きが入れ替わります。このことをこのように描くことがあります。

■４２　２枚だけ振り返りです。
■４３　アンテナに＋と一を繰り返す電気をかけると電波が出ます。
受信側のアンテナでそれを電気に直して使うことができます。
■４４　待ち構えている信号と同じ速さの繰り返しの信号だけを、かけ合わせで知ることができます。
■４５　★適宜「プログラム作成で参考にしたサイトです。」
■４６　//最初と同じタイトルのスライド
以上です。お疲れ様でした。
質問等ありましたらこの後伺います。
お忘れ物のないようにお願いいたします。

電波と通信を実験で確かめてみよう（実験）

所属　一般科目
担当者　中村 博文

この出展は、参加者が手を動かして何かをする、というものではありません。
準備した実験を皆で見ながら、電波や、情報を送れることを確かめていきます。

まず、**電波がどういうものか**を少しだけ知るための実験をします。
電波は電気と関係があります。どちらも見えませんが、電気を測る方法は得やすいため、電気と電波の関係を電気を使って確かめます。

電気は、電気を通すものでつながっていれば伝わります。つながっていなくても、電気を変化させると回りに影響を与えます。それが電波です。

送り手側で、送りたい情報に合わせて電気の変化を調整して、そのことが受け手側で分かれば、情報を伝えることができます。そのような方法はたくさんあります。

２つ目の実験では、現在、スマートフォンなどでも使われている方法の一部について、**電波で情報を送る**ことができる、その**ひらめき**を確かめます。

対象	**小学５年生くらい ～ 大人まで。**
所要時間	**３０分くらい。**
実施人数	**１２人くらい。**同伴者を含む。各回とも先着の着席者。自由席。

その他　現代社会を人知れず支えている「計算を使って役立つ働きを持たせる**しかけ**」のひとつについて、今日、自分の頭で、その**ひらめきを追体験**してみませんか。

aha!

※**注意**：パソコンやスマートフォン、タブレットで静電気や家庭用電源などを測ってはいけません。壊れますし危険です。

発展（もしよろしかったら、いろいろ調べて、もう少し きわめてみてください。自由研究になるかは提出先に確認を。）

- **電波**は、もっと広い言い方で**電磁波**とも言い、電気の働きと磁気の働きの両方が光速で伝わっていくものです。電気と磁気は常に関係しあっていますが、今日は主に電気の働きである**電界にだけ注目**します。
- 電気信号をもとに電波を出す部分や、電波を受けて電気信号に直す部分を**アンテナ**と言います。
- １秒あたりのプラスとマイナスのくり返し回数のことを**周波数**と言い**ヘルツ**(Hz)という単位を使います。
- スマートフォンの電波は１秒間あたりに数億回から数十億回程度プラスとマイナスをくり返しています。今日は、実験のしやすさから、それよりずっと遅い１秒間あたり 5000 回くらいのくり返しで実験します。
- 今日の実験での**信号のかけ合わせ**は **OFDM**(や **OFDMA**)というディジタル通信の方法の原理にあたります。スマートフォンなど移動体通信では第４世代(4G)や第５世代(5G)で使われていて、続く第６世代(6G)でも使われます。電波の強さが２種類だと１回で２通り、２回で４通り、３回で８通りを表すことになります。電波の強さが４種類だと４通りを１回で、８種類だと８通りを１回で表せますね。この性質は活用されています。他に、繰り返しあたりの時間(周期)の４分の１だけずらした信号は混信しないで使えるという性質があり(合わせて２倍送れる)活用されています。　　備考：aha! はマーチン・ガードナーの著書より。

図２　配布資料例