

提出日: 20xx 年 xx 月 xx 日

実験計画書

--

1 技術的・社会的な背景とシステムの目的

1-1. 技術的・社会的な課題や要求
1-2. 類似のシステム
1-3. システムの目的と独自性

2 システムの概要

2-1. システム全体の構成
2-2. 1 つ目の要素システムの構成
2-3. 音通信システムの構成 音通信システムの構成図を図 1 に、動作の流れを図 2, 図 3 に示す。送信側 Arduino で光の受信によって取得した 4 進数の数列を音に変換し、ダイナミックスピーカーから音波を出力する。このとき出力する音波は、取得した数列を 2 シンボルずつに分け、各 2 シンボルに対応した 16 個の周波数の音波である。ダイナミックスピーカーから出力された音波は受信側 Arduino に接続されたマイクに入力される。入力された音波からその周波数を検知し、周波数に対応する 2 桁の 4 進数を受信側 Arduino で取得する。
2-4. n つ目の要素システムの構成

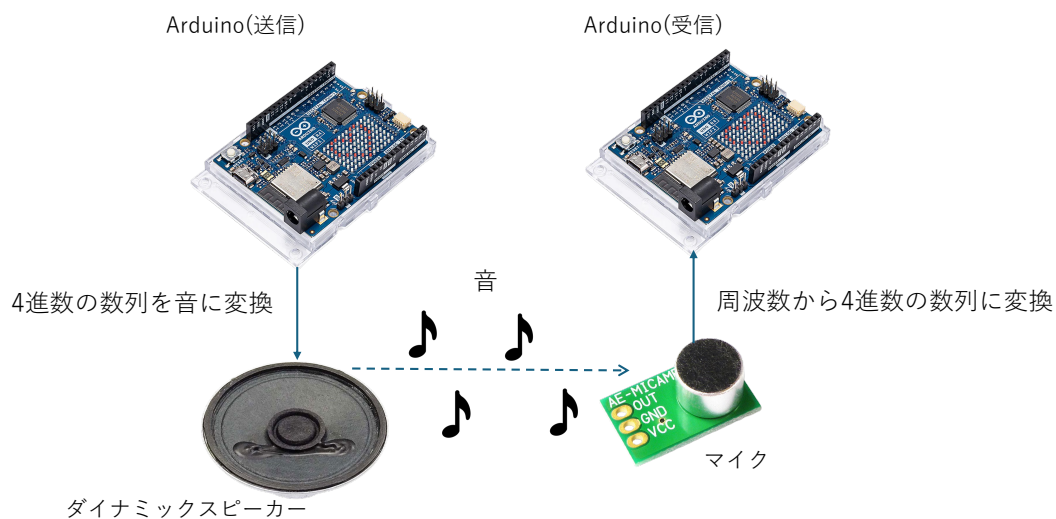


図 1 音通信システムの構成図

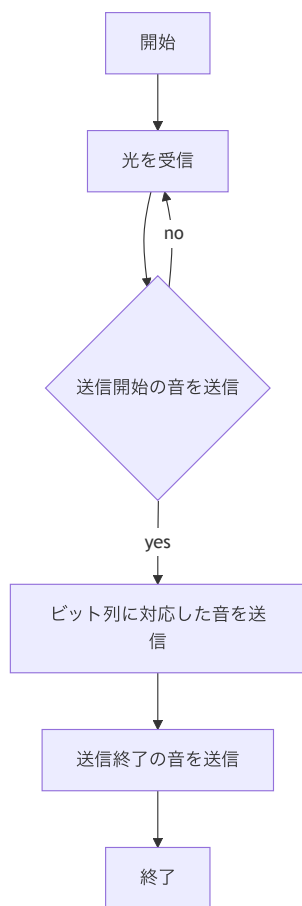


図 2 音通信システム（送信側）のフローチャート

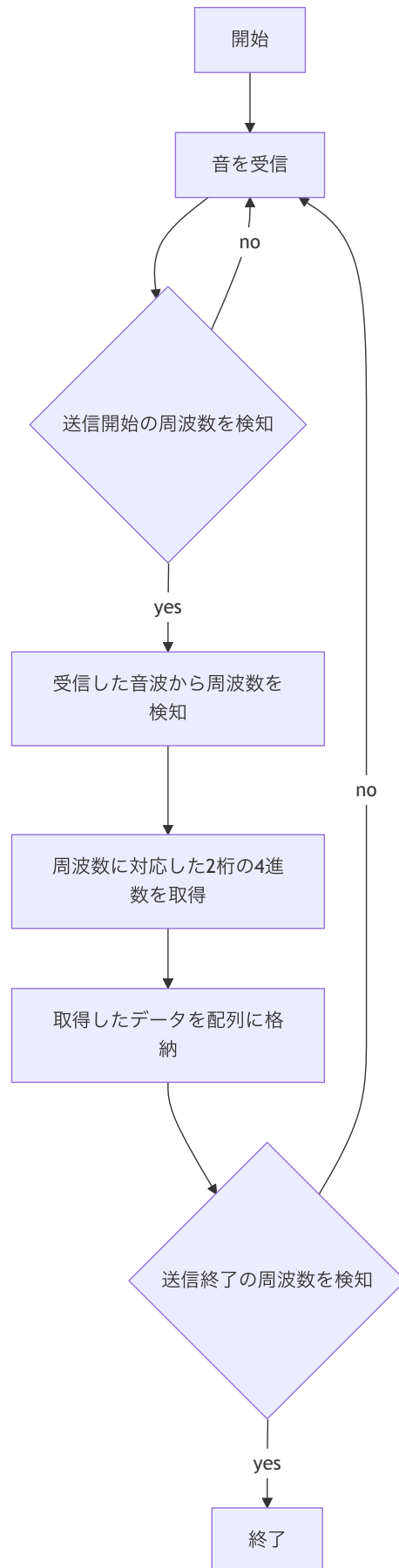


図3 音通信システム（受信側）のフローチャート

3 必要な作業

3-1. 1つ目の要素システムを構築する作業

3-2. 音通信システムを構築する作業

- Arduino と抵抗器，ダイナミックスピーカを接続し音波を出力可能な回路をブレッドボード上に組む
 - － Arduino のデジタルピンと 330 Ω の抵抗器，ダイナミックスピーカーを直列に接続
- 受信した数列に応じて音波を送信するプログラムを作成する
 - － 4 bit の 4 進数の数列を受信する
 - － 17 個の音程を用意し，1 個は開始と終了の合図に，他の 16 個は受信した数列を 2 シンボル \times 2 個に分けた各 2 シンボルを表す為に設定する
 - － 受信した数列に対応する音程（周波数）の音波をスピーカーから出力する
- マイクと抵抗器，Arduino を接続し音波を入力可能な回路をブレッドボード上に組む
- 入力した音波の周波数を特定し，対応する数値を取得するプログラムを作成
 - － 受信した波の頂点を検知し，その周期から周波数を得る
 - － 得た周波数に対応する数値（2 シンボル）を取得する
- 取得した数値からテキストを復元

3-3. n 個目の要素システムの構成

3-4. 全体のシステム（要素システムの結合）

4 担当者割り当て

各作業の担当者を図 4 に示す。

5 スケジュール

本システムのスケジュールを図 5 のガントチャートで示す。

6 必要な機材

本システムの構築に必要な機材を表 1 に示す。

表 1 必要な機材

機材名	仕様	数量	調達方法	費用（円）
Arduino Uno R4 WiFi	ABX00087	2	持参	0
ブレッドボード EIC-102J	0165-41-4-1020	2	持参	0
ダイナミックスピーカー	WYGD50D-8-03	1	購入	240
マイクアンプモジュール	AE-MICAMP	1	購入	500
炭素被膜抵抗	330 Ω	2	持参	0

可視化可聴化する無線通信				
第 1 層	第 2 層	第 3 層	第 4 層	担当者
1000 機材調達	1100 光機材	1110 LED 1120 抵抗器 1130 照度センサー NJL7502L		山口 山口 山口
	1200 音機材	1210 抵抗器 1220 スピーカ WYGD50D-8-03 1230 マイクモジュール MAX4466		久我 久我 久我
	1300 振動機材	1310 DC モーター FA-130RA-2270L 1320 3軸加速度センサーモジュール KXR94-2050		金枝 金枝
	1400 全体機材	1410 mac 1420 Arduino UNO R4 WiFi		山口 久我 金枝 沢田 山口 久我 金枝 沢田
2000 通信	2100 文字入力	2101 4 進数変換プログラム		山口
	2200 光通信	2210 送信	2211 光送信回路作成 2212 光送信プログラム作成	山口 山口
		2220 受信	2221 光受信回路作成 2222 光受信プログラム作成	久我 久我
	2300 音通信	2310 送信	2311 音送信回路作成 2312 音送信プログラム作成	久我 久我
		2320 受信	2321 音受信回路作成 2322 音受信プログラム作成	金枝 金枝
	2400 振動通信	2410 送信	2411 振動送信回路作成 2412 振動送信プログラム作成	金枝 金枝
		2420 受信	2421 振動受信回路作成 2422 振動受信プログラム作成	沢田 沢田
	2500 結果出力	2510 結果出力プログラム作成		沢田
	3100 光の受送信結合テスト	3110 光 ビット送信確認 3120 光 プログラム確認		山口 久我 山口 久我
		3210 音 ビット送信確認 3220 音 プログラム確認		久我 金枝 久我 金枝
3000 結合	3300 振動の受送信テスト	3310 振動 ビット送信確認 3320 振動 プログラム確認		金枝 沢田 金枝 沢田
		3410 全体 ビット送信確認 3420 全体 プログラム確認		山口 久我 金枝 沢田 山口 久我 金枝 沢田

図 4 WBS 図と担当者割当

7 システムの評価指標と具体的な数値目標

音の送信における評価指標として、通信距離と通信精度、通信速度を評価する。初めに通信距離について評価指標を設定する。屋内でスピーカからのサイレン音をスマートフォンを用いて受信する実験では通信距離が 10 m を超えても適切に通信が可能であると報告があり [1][2]。今回の音程の差による通信について、通信可能距離=10 m を目標とする。

次に通信精度について評価指標を設定する。音を連続で鳴らすと、一つ前になった音が遅延や反射によってその後に鳴った音と干渉するシンボル間干渉 (ISI) が生じる可能性がある。ISI を軽減、防止するために、シンボル間に通信しない間隔のガードインターバル (GI) を設ける。通信の際 GI をシンボル長の 25% にすることで干渉を防ぎつつ効率の良い通信が可能となる [3]。また、デジタル通信では、伝送品質の指標としてビット誤り率 (BER) が用いられる [4]。BER は誤ったビットを受信する確率で、送信されたビット数 N_t と誤って受信したビット数 N_e を用いて式 1 で表される。

$$BER = \frac{N_e}{N_t} \quad (1)$$

データのビット値を音のオンオフによって符号化した音響通信の例では、雑音が通信音量以下だと BER は約 2% で、雑音が大きい環境だと BER が 10% を超えたという結果があり [5]、これを踏まえ音通信システムにおける通信精度について、 $BER < 10^{-1}$ を目標とする。

No.	担当者	7 周目	8 周目	9 周目	10 周目
1110 LED 調達	山口				
1120 抵抗器 調達	山口				
1130 照度センサー NJL7502L 調達	山口				
1210 抵抗器 調達	久我				
1220 スピーカ WYGD50D-8-03 調達	久我				
1230 マイクモジュール MAX4466 調達	久我				
1310 DC モーター FA-130RA-2270L 調達	金枝				
1320 3軸加速度センサーモジュール KXR94-2050 調達	金枝				
1410 mac持参	山口 久我 金枝 沢田				
1420 Arduino UNO R4 WiFi持参	山口 久我 金枝 沢田				
2101 4 進数変換プログラム	山口				
2211 光通信 送信側 回路作成	山口				
2212 光通信 送信側 プログラム作成	山口				
2221 光通信 受信側 回路作成	久我				
2222 光通信 受信側 プログラム作成	久我				
2311 音通信 送信側 回路作成	久我				
2312 音通信 送信側 プログラム作成	久我				
2321 音通信 受信側 回路作成	金枝				
2322 音通信 受信側 プログラム作成	金枝				
2411 振動通信 送信側 回路作成	金枝				
2412 振動通信 送信側 プログラム作成	金枝				
2421 振動通信 受信側 回路作成	沢田				
2422 振動通信 受信側 プログラム作成	沢田				
2510 結果出力プログラム作成	沢田				
3110 光通信 ビット送信確認	山口 久我				
3120 光通信 プログラム確認	山口 久我				
3210 音通信 ビット送信確認	久我 金枝				
3220 音通信 プログラム確認	久我 金枝				
3310 振動通信 ビット送信確認	金枝 沢田				
3320 振動通信 プログラム確認	金枝 沢田				
3410 全体 ビット送信確認	山口 久我 金枝 沢田				
3420 全体 プログラム確認	山口 久我 金枝 沢田				

図 5 各作業のスケジュール

次に通信速度について評価指標を設定する．先ほどの研究 [5] では 2 進数データを 4bit のブロックに区切り，各ブロックを 0.4 s の音で通信した．この通信速度を計算すると 10 bps となり，この速度で BER が約 2% であるため，10 bps で適切な通信が可能だと考える．また，この研究と類似した条件で音通信システムの速度を計算すると音長 0.3 s で 10.6bps となり軽微な高速化が図れる．よって，音通信システムにおける通信速度について，bps=10 s を目標とする．

参考文献

- [1] 小嶋 徹也，鎌田 寛，Udaya PARAMPALLI，楽曲を用いた通信システム，東京工業高等専門学校研究報告書，No.49，2017.
- [2] Youki Sada, Tetsuya Kojima, "Improvement of Emergency Broadcasting System Based on Audio Data Hiding", IEICE Tech. Rep., Vol.117, No.476, EMM2017-88, pp.55-60, 2018.
- [3] Md. Zahid Hasan, Mohammad Reaz Hossain, Md. Ashraful Islam, Riaz Uddin Mon-

dal, "Comparative Study of Different Guard Time Intervals to Improve the BER Performance of Wimax Systems to Minimize the Effects of ISI and ICI under Adaptive Modulation Techniques over SUI-1 and AWGN Communication Channels", IJCSIS, Vol.6, No.2, pp128-132, 2009.

- [4] Jia Dong, "Estimation of Bit Error Rate of any digital Communication System", Télécom Bretagne, HAL Open Science, 2013.
- [5] 大石 智久, 「音楽性信号への符号化による携帯端末用音響通信」, 三重大学学術機関リポジトリ, 2014.