

# 修士論文

題目     Arduino ソフトウェア開発支援を目的とした  
          開発者向け質疑サイト Stack Overflow の分析

主任指導教員     水野 修 教授

指導教員         崔 恩滯 助教

京都工芸繊維大学大学院 工芸科学研究科

情報工学専攻

学生番号     21622031

氏 名     寺村 英之

令和5年2月9日提出



学位論文等内容の要旨（和文）

令和 5 年 2 月 9 日

京都工芸繊維大学大学院  
工芸科学研究科長 殿

工芸科学研究科 情報工学専攻  
令和 3 年入学  
学生番号 21622031  
氏 名 寺村 英之 ㊞

（主任指導教員 水野 修 ㊞）

本学学位規則第 4 条に基づき、下記のとおり修士論文・特定の課題についての研究の成果に係る内容の要旨を提出いたします。

1. 題目

Arduino ソフトウェア開発支援を目的とした開発者向け質疑サイト Stack Overflow の分析

2. 内容の要旨（400 字程度）

Arduino は電子工作や IoT システムの開発に広く使われている開発プラットフォームの 1 つである。ソフトウェア開発ではコンパイルエラーや変数のオーバーフローによるバグなど様々な問題が発生する。Arduino を用いたシステム開発でも同様の問題のほかマイコンボードにソフトウェアが書き込めないなど Arduino 特有の問題や、機器間での通信に障害が発生する様々な問題が発生するため、Arduino を用いたシステム開発を支援する方法が求められている。そこで本研究では開発者向け質疑サイトである Stack Overflow の投稿をトピックモデルを用いて分析した。その結果、Arduino を用いた開発ではプログラミングに関する問題のほかに機器との通信における問題に頻繁に直面していることが分かった。最後に、分析結果に基づいて通信機能の実装を支援する開発ツールに関する考察を行った。



# **An analysis of Stack Overflow to support Arduino software development**

2023

21622031

TERAMURA Hideyuki

## **Abstract**

Arduino is a widely used platform for developing IoT systems and hobby projects. In software development, developers often encounter various challenges such as solving compilation issues, and debugging softwares. Software development with Arduino suffers not only from such problems, but also from various challenges including platform specific issues, and data transmission errors. In this study, we analysed questions from the developer question site Stack Overflow utilising topic models. We found that software programming issues and data transmission problems are frequently encountered in Arduino software development. Based on our findings, we also discussed methods to assist implementation of data transmission features of systems developed with Arduino.



# 目次

<b>1. 緒言</b>	<b>1</b>
<b>2. 背景</b>	<b>3</b>
2.1 Arduino . . . . .	3
2.2 Stack Overflow . . . . .	3
2.3 トピックモデル . . . . .	4
<b>3. 分析手順</b>	<b>6</b>
3.1 研究設問 . . . . .	6
3.1.1 RQ1: Stack Overflow における Arduino に関する質問はどのよう に分類できるか . . . . .	6
3.1.2 RQ2: 分類した質問で開発者が直面している問題は何か . . . . .	6
3.2 データセット . . . . .	6
3.3 分析手法 . . . . .	7
3.3.1 データセット取得と整理 . . . . .	7
3.3.2 データ前処理 . . . . .	8
3.3.3 トピックモデルによる分類 . . . . .	9
3.3.4 目視調査 . . . . .	9
<b>4. 分析結果</b>	<b>11</b>
4.1 結果 . . . . .	11
4.2 研究設問への回答 . . . . .	20
<b>5. 議論</b>	<b>22</b>
5.1 目視調査で見つかった問題 . . . . .	22
5.1.1 シリアル通信に関する問題 . . . . .	22
5.2 シリアル通信機能の開発支援手法の提案 . . . . .	23
<b>6. 妥当性への脅威</b>	<b>25</b>
<b>7. 結言</b>	<b>26</b>

謝辞	26
参考文献	27
付録 A. 分析結果で挙げた Stack Overflow の投稿の例	28



# 1. 緒言

Arduino<sup>(注1)</sup>は電子工作やIoTシステムの開発のために広く利用されている開発プラットフォームの1つである。Arduinoの開発環境であるArduino IDE(Integrated Development Environment)はハードウェアごとの特徴を隠蔽するため、このIDEを使うことでまるでPCアプリケーションを実装しているかのようにハードウェア制御プログラムを実装できる。これによってマイクロコントローラやハードウェアの知識があまりないソフトウェア開発者や電子工作初心者でも、物理的な世界と相互作用するシステムを開発できる。

Arduinoにおけるソフトウェア開発でもコンパイルエラーや変数のオーバーフローによるバグなど一般的なソフトウェア開発と同様に様々な問題が発生する。ほかにもArduinoに対応したマイコンボードへソフトウェアを書き込む際にエラーが発生したり、マイコンボードに接続されているハードウェア外としたとおりに動作しなかったりするなど、Arduino特有の問題も発生する。ソフトウェア開発者は開発時に発生する問題を解決するために開発者向けの質問掲示板サイトを利用することがある。Stack Overflow<sup>(注2)</sup>はそのようなWebサイトの代表例である。ソフトウェア開発者が直面する問題について知ることは、ソフトウェア開発補助手法の提案に役立つ[1]。実際にソフトウェア開発一般やIoTシステム開発における課題について知るためにStack Overflowを使った調査が行われてきた[2][3]。一方でArduinoにおけるソフトウェア開発に着目した調査は調べた限りでは見つからなかった。

Arduinoにおけるソフトウェア開発で発生する問題の解決を支援するツールを開発すればArduinoを使った電子工作プロジェクトやIoTシステム開発をスムーズに行えるようになる。そこでArduinoにおけるソフトウェア開発を支援する手法を提案することを目的として、これまで行われてこなかったArduinoに着目したStack Overflowの質問調査を行うことにした。Arduinoに着目対象を限定した理由は、対象がより広い調査では見つけることができなかつたArduinoにおけるソフトウェア開発特有の問題を発見できることが期待されるからである。

本研究ではStack Overflowに投稿されたArduinoに関する質問を調査対象として

---

(注1): <https://www.arduino.cc/>

(注2): <https://stackoverflow.com/>

トピックモデルによる分類と目視調査による問題の分析することで、Arduino ソフトウェア開発における問題の分類と各問題の関係性について調査する。

この研究における研究設問は以下のとおりである。

RQ1 Stack Overflow における Arduino に関する質問はどのように分類できるか。

RQ2 分類した質問で開発者が直面している問題は何か。

この研究の貢献は次の2つである。

- Arduino ソフトウェア開発者が直面する問題の分類を作成し、プログラミングと電子工作に関する問題と通信に関する問題が重要であることを明らかにした
- Arduino ソフトウェア開発で発生する問題を解決するための開発補助手法について議論し、ハードウェアに依存しないシリアル通信抽象化を提案した。

最後にこの論文の章構成について簡潔に述べる。第2章ではこの研究の背景と分析手法の説明に必要となる Arduino と Stack Overflow, トピックモデルの手法について説明する。第3章ではこの研究で用いた分析手法を説明する。第4章では分析結果を示し、第5章では分析結果に基づいた Arduino ソフトウェア開発における問題について議論し各研究設問に回答する。第6章ではこの研究の妥当性への脅威について述べ、第7章でこの研究の貢献についてまとめる。

## 2. 背景

### 2.1 Arduino

Arduino は外界と物理的に相互作用するシステムをかんたんに開発するための開発プラットフォームの 1 つである。Arduino は統合開発環境である Arduino IDE と外界と相互作用するハードウェアを制御するためのマイコンボードである Arduino ボードからなる。マイコンボードとはマイクロコントローラという CPU(Central Processing Unit) と外部との通信やハードウェアの制御に用いられるペリフェラルを組み合わせた LSI をかんたんに使えるように他の部品とともに実装した基板である。

Arduino を用いたシステム開発の流れについて簡単に説明する。まず外界と相互作用するためのハードウェア部分を作成する。この際ハードウェア部分で用いるセンサーやアクチュエーターを用いる Arduino ボードに接続し、Arduino ボードから制御できるようにする。ハードウェアが作成できたら Arduino IDE で Arduino ボードを制御するプログラムを実装する。Arduino ボードを制御するために開発するプログラムはスケッチと呼ばれる。制御プログラムが実装できたらパソコンに Arduino ボードを接続し、プログラムを Arduino ボードに転送する。プログラムの転送が終わると自動的にプログラムが実行されるのでここで作成したシステムの動作試験をし、適宜ハードウェアとプログラムを修正していく。

### 2.2 Stack Overflow

Stack Overflow は開発者向けの質問掲示板サイトの 1 つである。質問掲示板サイトとは質問者が知りたい内容を投稿し、それに対して他のサイト利用者が回答を投稿することで疑問の解決を図るものである。Stack Overflow での質問には質問内容のトピックを表すタグが付けられる。タグ付けは質問者と質問の編集者だけが設定できる。

Stack Overflow に投稿された質問などのデータは Stack Exchange Data Dump<sup>(注 3)</sup>や SOTorrent Dataset[4] などのデータセットとして提供されている。質問に付けられたタグや投稿日時など形式的なデータをたくさん含む一方で、投稿内容そのものなど

---

(注 3): <https://archive.org/details/stackexchange>

自然言語で記述された非構造データも多く含むため、Stack Overflow 上の質問を分析するには工夫が必要である。

## 2.3 トピックモデル

Stack Overflow の質問内容など膨大な自然言語データの分析を容易に行うための手法の 1 つにトピックモデルがある。トピックモデルとは非構造データを似た特徴を持つデータのグループに分類する手法である。例えばトピックモデルを用いて自然言語で書かれた質問の集合を分類し、分類ごとに目視で質問を分析することで与えられた質問の集合がどのような種類の質問からなるのかが分かる。

トピックモデルでは分類したい非構造データそれぞれを document, document の集合を corpus と呼ぶ。トピックモデルは corpus から各トピックを行, 各 document を列とし, document があるトピックに属する確率を並べた行列を計算することで, 非構造データの分類を実現する。

代表的なトピックモデルとして Latent Dirichlet Allocation[5] (以降 LDA) がある。LDA は自然言語データなどのモデルとして使われる確率生成モデルである。LDA ではモデル化するデータ (コーパス) を単語列からなるドキュメントの集合と考え, トピックに基づきある規則で単語が観測されると仮定している。この研究で LDA の実装として用いた scikit-learn の説明ページには次のような手法でコーパスのモデル化を行っている<sup>(注 4)</sup>。

まずコーパスをドキュメント  $D$  の集合とし, トピックの集合  $K$  を考える。トピックごとの単語の分布とドキュメントごとのトピックの分布を次のようにモデル化する。

1. 各トピック  $k \in K$  について単語に対するトピックの確率分布を選択する。

$$\beta_k \sim \text{Dirichlet}(\eta)$$

2. 各ドキュメント  $d \in D$  についてトピックに対するドキュメントの確率分布を選択する。  $\theta_d \sim \text{Dirichlet}(\alpha)$

さらにドキュメントごとの単語の出現を次のようにモデル化する。すなわちドキュメント  $d$  の各単語  $i$  について:

---

(注 4): <https://scikit-learn.org/stable/modules/decomposition.html#latent-dirichlet-allocation-lda>

1. 単語に割り当てられるトピックを確率分布から選択する.  $z_{di} \sim \text{Multinomial}(\theta_d)$
2. ドキュメントに現れる単語を確率分布から選択する.  $w_{ij} \sim \text{Multinomial}(\beta_{z_{di}})$

ここで  $\text{Dirichlet}(x)$  はパラメータ  $x$  のディリクレ分布,  $\text{Multinomial}(x)$  はパラメータ  $x$  の多項分布である. また  $K$  と  $\eta, \alpha$  はモデルのハイパーパラメータであり, それぞれコーパスに含まれるトピックの数, 単語がトピックに含まれる確率の初期値, ドキュメントがあるトピックに属する確率の初期値である.

LDA を用いてコーパスのトピックを推論するには, 単語に対するトピックの確率分布  $\beta$ , トピックに対するドキュメントの確率分布  $\theta$  を求めれば良い. これらの確率分布は次の事前分布を求めることで得られる.

$$p(z, \theta, \beta | w, \alpha, \eta) = \frac{p(z, \theta, \beta | \alpha, \eta)}{p(w | \alpha, \eta)} \quad (2.1)$$

scikit-learn ではベイズ推定を用いてこの問題を解いている.

## 3. 分析手順

本研究では研究設問に回答するため、Stack Overflow 上の質問のトピックモデルを用いて分類し、質問を目視で調査した。この章では研究設問の説明と分析の具体的な手法を説明する。

### 3.1 研究設問

#### 3.1.1 RQ1: Stack Overflow における Arduino に関する質問はどのように分類できるか

この設問では Stack Overflow における Arduino に関する質問がどのような種類に分類できるかを質問内容とその背景の観点から問う。この設問の設定理由は質問の分類を知ること、開発時の問題が発生しやすい環境やその影響範囲を分類ごとの傾向から明らかにできると考えられるからである。

#### 3.1.2 RQ2: 分類した質問で開発者が直面している問題は何か

この設問では質問の分類ごとにどのような問題の解決が図られているかを問う。この設問に答えることで解決すべき問題を明らかにし、開発支援手法の提案に繋げる。

### 3.2 データセット

分析のためのデータセットとして SOTorrent Dataset[4] を用いた。ただし最後に作成されたデータセットは 2020 年 12 月 31 日付のものであり、現在の Stack Overflow の質問を必ずしも反映しないと考えられたので Stack Exchange Data Dump の 2022 年 10 月 5 日付のものを用いて一部のテーブルを作成した。テーブルの作成には SOTorrent のデータセット作成再現コード<sup>(注 5)</sup>と別途作成した PostTags テーブル生成コード<sup>(注 6)</sup>とを用いた。作成した SOTorrent データセットのテーブルは次のリストの通りである。

---

(注 5): <https://github.com/sotorrent/db-scripts>

(注 6): <https://github.com/ikubaku/genposttags>

- Badges
- Comments
- PostHistory
- PostHistoryType
- PostLinks
- PostTags
- PostType
- Posts
- Tags
- Users
- VoteType
- Votes

### 3.3 分析手法

分析手法の流れは以下のとおりである。

Step 1. データセット取得と整理

Step 2. データ前処理

Step 3. トピックモデルによる分類

Step 4. 目視調査

次にそれぞれのステップについて説明する。

#### 3.3.1 データセット取得と整理

まずデータセットから”arduino”を含むタグが付いた投稿の ID をすべて抽出する。抽出に用いられたタグを以下に示す。

- arduino
- arduino-c++
- arduino-cli

- arduino-due
- arduino-esp32
- arduino-esp8266
- arduino-httpclient
- arduino-ide
- arduino-mkr1000
- arduino-nano
- arduino-ultra-sonic
- arduino-uno
- arduino-uno-wifi
- arduino-yun
- arduinojson
- jarduino

次に得られた ID が付いた投稿を Posts テーブルから検索し、投稿内容をすべて抽出する。

### 3.3.2 データ前処理

LDA で分類する際の前処理は関連研究 [3] のものを元にした方法を採用した。まず投稿内容からコードブロックを表す HTML タグ (code タグと pre タグ) に囲まれた部分を削除し、残った部分から HTML タグなど投稿内容を表さない部分を削除する。次に冠詞 "a", "the" などの stop words と英字アルファベットを含まない単語, "0x" から始まる 16 進数を表す単語を除去する。最後に Porter stemming[6] を用いて変化系のある単語の語幹のみを取り出す。なお前処理の過程で空白文字のみからなる単語列になる場合は無効なデータとしてこれ以降使わない。

最終的に投稿内容はこの節で述べた部分の除去や単語の変換作業を経た単語列になる。

この前処理の際、HTML パーサーには Beautiful Soup<sup>(注 7)</sup> 4.11.1 と Python 標準パッケージ html に含まれる parser を用いた。また stop words, word tokenizer, Porter stem-

---

(注 7): <https://www.crummy.com/software/BeautifulSoup/>



mer の実装としてそれぞれ NLTK 3.8.1 の stop words 集合と `nltk.tokenize.word_tokenize` 関数, `nltk.stem.porter` を用いた.

### 3.3.3 トピックモデルによる分類

LDA の実装として `scikit-learn` 1.2.0 を用いた.

LDA のハイパーパラメータは LDADE[7] を用いて調整した. 使用したパラメータを表 3.1 に示す.

トピックモデルの学習計算環境として表 3.2 に示す構成の PC を用いた.

トピックの計算後 David らが提案した手法 [8] を用いてトピックの coherence を計算し, 計算結果の信頼性の参考とした. Coherence 計算の実装として `gensim` <sup>(注 8)</sup> 4.3.0 の `CoherenceModel` を用いた.

### 3.3.4 目視調査

得られた各トピックについてトピックモデルごとに投稿内容をサンプルし, 目視で質問内容を分析する. この分析の中で各トピックにどのような質問が存在するかとどのような共通した問題が見られるかをまとめる. なお目視調査は Arduino Due や Spresense などを使ったロボットや電子工作の経験があり, Arduino ボードや開発環境に深い知識のある者が行なった.

---

(注 8): <https://radimrehurek.com/gensim/>

**表 3.1 LDA のハイパーパラメーター**

sklearn.decomposition.LatentDirichletAllocation のパラメーター名	設定値
n_components	61
doc_topic_prior	0.802440860711474
topic_word_prior	0.01

**表 3.2 計算環境構成**

CPU	AMD Ryzen 9 5900X
RAM	32GB
計算処理用ストレージ	1TB NVMe SSD
OS	Linux 6.1 x86_64

## 4. 分析結果

### 4.1 結果

データセットからは 20462 件の”arduino”を含むタグの付いた投稿が抽出された。そのうち前処理の段階で 9 件が除去され、20453 件の投稿を分類した。

まず各トピックに関連する上位 10 単語を表 4.1, 4.2, 4.3 に示す。トピックの coherence は  $\$ -3.087663322298139\$$  であった。

次にトピック-document 行列の値をもとに各トピックの上位 5 投稿を目視で分析した。なお選んだ上位投稿が Arduino と関係がない投稿である場合はその次の投稿も追加で分析し、各トピックごとに少なくとも 5 投稿を分析するようにした。目視分析に基づく投稿の分類結果を図に示す。分類名の横の数はそれぞれの分類に属する投稿の数を示す。各分類に併記されているトピックはその分類に属する上位投稿が少なくとも 3 件あることを表す。最も下位の分類にはその兄弟である分類に重複して同じ投稿が含まれないようにしている。それ以外のトピックは分類不明とした。

例えばトピック 3 は Wire ライブラリ関連の上位投稿を 3 つ以上含み、トピック 2 は通信のいずれかの分類の上位投稿を 3 つ以上含む。

次に分類の意味について説明し、それぞれに属する投稿の例を紹介する。投稿例のタイトルとリンク先は付録にある。

### 通信

この分類は Arduino ボードとパソコンあるいはスマートフォンとの通信に関する質問の分類である。通信に関する投稿の数はすべての分類の中で 2 番目に多かった。

#### Wire ライブラリ関連

I<sup>2</sup>C バス通信ライブラリ Wire に関する質問の分類である。例えばバスに複数の Arduino を接続した構成で動作しなくなる問題を提示している質問 Q12348 や、Wire ライブラリの使い方についての質問である Q3346 がある。

表 4.1 LDA によるトピックの上位 10 単語 (1)

トピック	単語
1	packet, spi, read, statu, block, card, rfid, log, tag, mfrc522
2	data, send, read, pars, incom, serial, come, extract, arduino, code
3	wire, read, commun, master, i2c, writ, slave, keyboard, serial1, bu
4	connect, devic, bluetooth, usb, phone, ble, option, servic, config, network
5	time, save, wait, real, read, code, arduino, serial, tim, repli
6	write, flash, chip, read, written, regist, clock, transfer, effect, wrote
7	command, monitor, respons, temperatur, send, humid, read, cmd, serial, piec
8	string, buffer, int, length, null, serialport, fals, event, return, void
9	feeff, second, load, mqtt, minut, hour, day, fail, len, publish
10	display, text, imag, screen, color, row, msg, column, background, width
11	turn, light, mega, work, random, gener, problem, circuit, make, led
12	applic, doubl, web, source, relay, api, develop, combin, arduino, stack
13	button, press, check, micro, program, limit, _bv, code, match, 00
14	error, includ, cpp, void, int, class, declar, ino, note, libraries
15	appreci, ani, make, inform, thank, work, doe, idea, googl, want
16	compil, avr, build, version, arduino, bin, hardware, home, lib, gcc
17	possibl, work, solut, code, insid, specif, automat, small, project, im
18	chang, add, debug, ad, edit, issu, simpli, work, separ, code
19	ve, studio, visual, manual, work, project, similar, sort, lot, arduino
20	modul, connect, power, rx, tx, xbee, nano, hc, 5v, uart
21	sketch, upload, ide, blink, error, board, instal, reset, avrdud, driver
22	bit, output, work, fine, program, oper, reason, code, appear, strang
23	signal, read, rate, sampl, analog, measur, voltag, calcul, channel, rang
24	user, charact, enter, pleas, arduino, creat, empti, consol, program, code
25	esp32, wifi, esp, core, arduino, work, ic, 32, idf, components

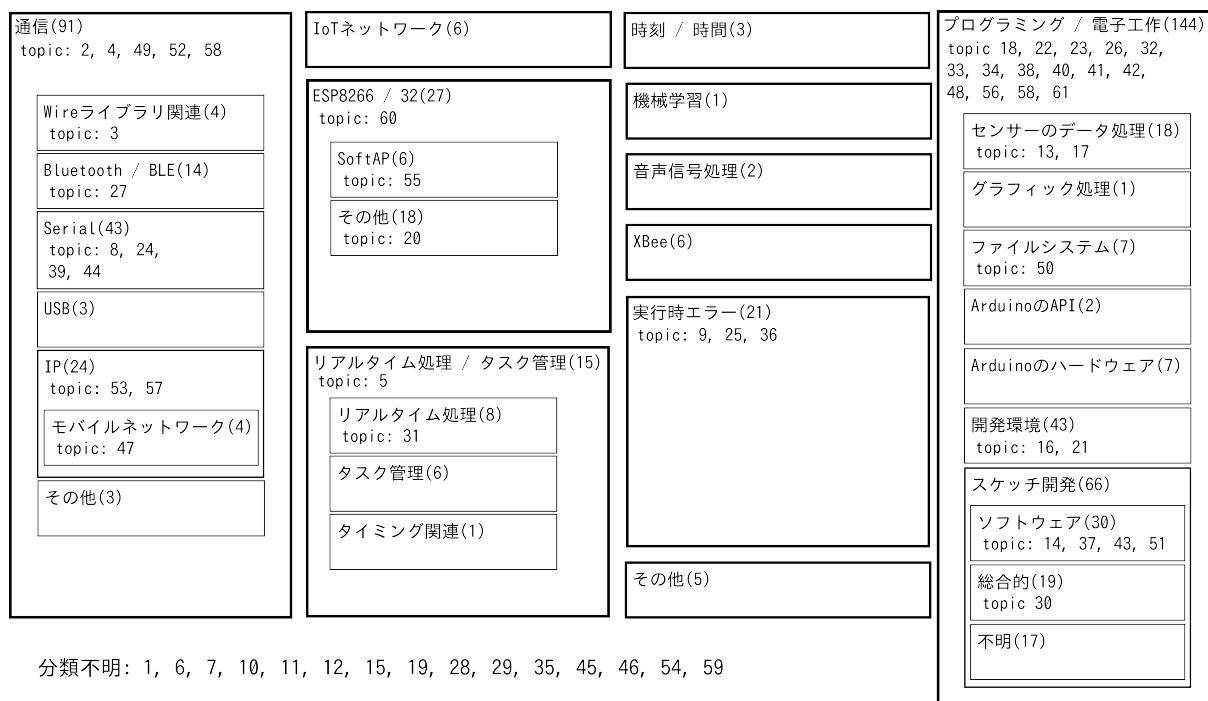
表 4.2 LDA によるトピックの上位 10 単語 (2)

トピック	単語
26	start, order, code, search, howev, mean, indic, correct, arduino, read
27	android, java, app, public, import, privat, void, view, catch, final
28	serial, print, println, void, begin, includ, int, delay, setup, avail
29	sensor, case, break, state, switch, index, count, distanc, counter, push
30	gp, fix, locat, transmit, code, actual, track, follow, 0xb, gps
31	set, interrupt, timer, eeprom, extern, enabl, trigger, flag, disabl, matlab
32	array, defin, uint8_t, size, memori, struct, void, sizeof, int, uint16_t
33	arduino, program, project, altern, work, basic, code, problem, output, thi
34	implement, complet, list, task, base, microcontrol, handl, instanc, perform, interv
35	work, make, detect, play, sound, standard, experi, problem, potentiomet, easi
36	char, esp8266, const, line, unsign, local, users, packages, std, hardware
37	variabl, address, method, object, pass, format, paramet, creat, mac, assign
38	code, binari, remot, ir, arduino, work, problem, wrong, instruct, decod
39	port, open, serial, process, window, close, sender, form, myport, commun
40	function, loop, action, setup, work, void, car, callback, rc, iter
41	point, figur, problem, work, statement, remov, place, activ, access, compar
42	question, understand, link, tutori, learn, origin, project, thank, websit, sorri
43	pin, input, lcd, digit, output, clear, gpio, keypad, setup, game
44	python, pi, serial, import, self, print, dev, raspberri, ser, script
45	float, motor, servo, speed, posit, step, val, direct, udp, attach
46	receiv, avail, blk, serial, arduino, send, transmitt, lora, code, rssi
47	uno, shield, ok, ethernet, answer, arduino, internet, gsm, sm, person
48	control, robot, word, make, machin, arduino, stop, stay, arm, work
49	arduino, pc, comput, softwar, comun, program, problem, work, moment, serial
50	file, test, sd, txt, map, card, exist, line, open, initi

表 4.3 LDA によるトピックの上位 10 単語 (3)

トピック	単語
51	led, digitalwrit, int, high, low, delay, pinmod, output, void, red
52	messag, send, success, hello, error, code, world, listen, arduino, thi
53	http, librari, board, com, www, github, adafruit, support, cc, arduino
54	number, result, execut, org, equal, integ, code, descript, read, specifi
55	updat, type, class, id, html, page, script, click, document, div
56	byte, return, int, long, convert, hex, read, boolean, fals, ascii
57	store, php, temp, databas, data, insert, total, tabl, collect, record
58	run, code, info, work, arduino, releas, perfectli, setup, program, fine
59	valu, key, node, hold, axi, box, requir, sign, read, integ
60	server, client, connect, request, http, ip, wifi, json, post, host
61	differ, expect, encod, hardwar, function, thing, condit, purpos, happen, short

図 4.1 投稿の分類



## Bluetooth / BLE

Bluetooth や Bluetooth Low Energy の利用に関する質問の分類である。例えば Bluetooth Low Energy で iPhone とデータをやり取りする際にデータ化けが発生する (Q18200) や、Arduino のシリアルポートに接続した Bluetooth 通信モジュールを使ってモーター制御をしたいがうまく動作しない (Q17817) がある。

## Serial

RS-232C の送受信対のみを用いるシリアル通信である UART <sup>(注9)</sup>通信や USB Communication Device Class によるシリアルコンソール通信に関する質問の分類である。通信に関する質問では最も数の多い分類である。質問の種類として目立ったものは正常に通信ができないもの (Q19467, Q2452) と Arduino から送られるデータを高速にプロットする方法について聞いているもの (Q11057, Q12079), パソコン上のアプリケーションと連携したスケッチの実装方法について聞いているもの (Q14918, Q11207) があった。

## USB

USB Communication Device Class 以外の Class を用いている質問はこちらに分類した。例えば Android スマートフォンとスマートカードとして振る舞う Arduino ボードとの間の通信がうまくいかない (Q7531), libusb を使ったパソコン上のアプリケーションと Arduino スケッチ間でバルク通信ができない (Q14215) があった。

## IP

Wi-Fi や Ethernet, モバイルネットワークを使ってインターネット上のサーバーや LAN 上のパソコンと通信するスケッチに関する質問の分類である。この中で最も多かった質問は HTTP クライアントの実装方法に関するもので、自作の PHPWeb アプリにリクエストを投げてもデータベースが変更されない (Q19777, Q6425), Arduino Portenta で HTTPS/SSE を使うためのライブラリはあるか (Q13958) など 8 つの投稿があった。また他の分類でも見られたデータ破損に関する質問 (Q20071, Q2961) や大

---

(注 9): Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

きなデータのパス方法 (Q14649), 接続資格情報の管理方法 (Q10677) に関する質問があった。

## モバイルネットワーク

モバイルネットワーク通信モジュールを使ったシステムに関する質問の分類である。モバイルネットワーク通信モジュールを使ってインターネット上のサーバーと通信できない (Q4556,Q9956), Firebase Realtime Database にアクセスする方法 (Q17187), 通信モジュールを使ったシステムで Arduino IDE のシリアルモニターへデータを送れない (Q5445) という質問があった。

## その他

その他通信に関する質問として, Modbus を使ったシステムでの問題 (Q7493), Zigbee Shield を使ったときのデータ欠損 (Q1169), CAN Bus Shield のライブラリに関する質問 (Q18815) があった。

## IoT ネットワーク

MQTT や LPWA を使ったスケッチに関する質問の分類である。例えば MQTT クライアントで topic subscription が働かない (Q8043), LoRa ライブラリで整数値を送りたい (Q5776), GPS の情報を送る MQTT クライアントがしばらくすると接続に失敗する (Q10540) などがある。

## ESP8266 / 32

Espressif ESP8266 や ESP32 シリーズ SoC を使ったシステムに関する質問の分類である。

## SoftAP

Arduino ボード自身を Wi-Fi アクセスポイントとして動作させ, 接続したデバイスと通信するスケッチに関する質問の分類である。例えば ESP8266 HUZAZH ボー



ドで Web ページのコンテンツの送信中に接続がリセットされる (Q11120), SD カードに保存されている HTML を提供したい (Q3642), Telnet の待受がうまくできない (Q5448) などがある.

## その他

その他の質問として多かったものはクラッシュ(Q549,Q12019,Q17112) や HTTP リクエスト時の問題 (Q12060,Q19777) があった.

## リアルタイム処理 / タスク管理

リアルタイム処理や割り込み, タスクのスケジューリングなどに関する質問の分類である.

### リアルタイム処理

割り込みを使ったリアルタイム処理に関する質問の分類である. AVR マイコンを使った Arduino ボードでのタイマー割り込みを使ったパルス幅の計測 (Q14207), 外部割り込みがどこでマスクされているか (Q12330), センサー信号処理のために特定のタイミングで AD 変換したい (Q4323) などの質問があった.

### タスク管理

定期的なタスクの実行など特定のタイミングで何かを実行する処理に関する質問の分類である. 例えば長時間待機するタスクを途中で中断したい (Q17638), 定期的に処理を実行したいがうまく動作しない (Q6470,Q17529,Q8302) がある.

### タイミング関連

処理の同期に関する質問でシリアル通信のバッファリングによるタイミングのずれについての質問 (Q12890) があった.

## 実行時エラー

スケッチのクラッシュやメモリリークなど実行時に発生する致命的なエラーを問題にした質問の分類である。例えばクラッシュ(Q17177), ハングアップ (Q1602), Arduino をもとにしたソフトウェアでのメモリリーク (Q6707) などがある。ESP8266, ESP32 シリーズの SoC を使った Arduino ボードを使っているケースが多いことは特筆すべき点である。

## プログラミング / 電子工作

機能の実装方法, バグの解決, 回路の設計方法に関する質問の分類である。最も投稿の数が多かった分類である。

## センサーのデータ処理

センサーからのデータを処理するための質問の分類である。多くは押しボタンスイッチを使った機能の実装に関するもの（例えば Q10803, Q20387, Q1050）であった。ほかには加速度センサや IMU(Q3075, Q15378), 距離センサ (Q3467), 光センサ (Q15267), 圧力センサ (Q1913), 重量センサ (Q19152) に関する質問があった。

## グラフィック処理

画像データの処理に関する質問としてビットマップフォントの形式に関するものがあった (Q14689)。

## ファイルシステム

SD カードの取り扱いや ESP32 SoC などを使ったシステムでのフラッシュメモリの読み書きなどに関する質問の分類である。例えば SD カードに保存されたファイルの列挙時におけるトラブルの質問 (Q7517) や SPIFFS ライブラリでファイルシステムをスケッチは以下のデータと同期する方法を聞いている質問 (Q1964) がある。

## Arduino の API

Arduino の API についてに質問の分類である． millis を使った時間の計測に関する質問 (Q18177) と Serial.println 関数の使い方に関する質問 (Q16012) があった．

## Arduino のハードウェア

Arduino のハードウェア仕様の関係する質問の分類である． 例えば複数の拡張基板を接続する際の入出力ポート衝突に関する質問 (Q3877,Q9083), 回路に負荷がかかっているときに AD 変換器の結果に誤差が出る原因 (Q7415) などがあった．

## 開発環境

Arduino IDE など開発環境の操作, メモリの動的管理の挙動など開発環境や Arduino とパソコンの違いによるプログラミング手法の違いに関する質問の分類である． 特定の開発環境で問題が起こる (Q17855,Q10099), 書き込みができない (Q20001,Q349), 自作したライブラリを利用できない (Q3339,Q2032) などがある． ほかにドキュメントやチュートリアルに沿って操作したがうまくいかない (Q17792,Q7351), パソコンならメモリ確保・解放が起こるような操作をしたときの挙動に関する質問 (Q11896,Q3323) があった．

## スケッチ開発

スケッチのプログラミング全般に関する質問の分類である． コンパイルができない原因を知りたいという質問を始め, Arduino ボードに接続している電子回路が関わる質問などが含まれる．

## ソフトウェア

比較的単純なアルゴリズムの実装 (Q15315) やプログラミングに関する質問 (Q1255,Q2298,Q19208), コンパイルエラー (Q18126,Q15031) などが多くを占める． Q18126 のように使用しているライブラリの問題でコンパイルエラーになっている例があった．

## 総合的

Arduino ボードに接続されているハードウェアや RAM 容量など Arduino ボードそのものの性能が関係する問題に関する質問の分類である。例えばリレーを使った照明の制御 (Q5328) やシフトレジスタを使ったパラレル信号の変換 (Q8967) など電子回路の作成・制御方法をテーマにした質問がいくつかあった。またメモリーの少ない Arduino ボードを使ってフラッシュメモリを書き換える方法 (Q14481) など制約のある中でのプログラムの書き方を聞いている質問もあった。

## 不明

質問の情報が少ないなどの理由で前の分類のどちらにも分類できなかった質問はこちらに分類した。データ構造の内容が消える問題 (Q18624), スケッチが想定通りの動作をしない (Q9396) などがある。

## その他

比較的投稿の数が少なかったテーマの質問はこの分類にまとめた。Tensorflow lite で推論処理をするために画像データを前処理し、シリアル通信でパソコンとやり取りしたい (Q6146), 複数の音声と同時に再生したい (Q5190) などの質問があった。

## 4.2 研究設問への回答

以上の結果を研究設問への回答としてまとめる。

### **RQ1: Stack Overflow における Arduino に関する質問はどのように分類できるか**

Stack Overflow における Arduino に関する質問は図 4.1 のように分類できた。プログラミングと電子工作に関する質問、通信に関する質問は最も投稿数が多かった分類であり、複数のトピックにまたがって投稿が見られた。

## RQ2: 分類した質問で開発者が直面している問題は何か

通信に関する質問では正常に通信できない問題がよく言及されていた。特にシリアル通信と Ethernet, Wi-Fi を用いた通信でのトラブルがよく見られた。

ESP8266 と ESP32 シリーズ SoC を使っているシステムではスケッチの実行時エラーと SoftAP モードでの意図しない動作への言及が見られた。

プログラミングや電子工作に関する質問では、機能を実装するための方法を問う質問やプログラミングそのものの質問などソフトウェア開発では一般的な質問が見られた。それ以外にはスケッチの書き込み時の問題や開発環境の互換性など開発環境に関連した問題についての質問や自作した電子回路の問題についての質問が見られた。

## 5. 議論

### 5.1 目視調査で見つかった問題

#### 5.1.1 シリアル通信に関する問題

分析結果では UART や USB CDC を用いたシリアル通信でのトラブルや機能の拡張方法に関する質問が多く見られた。Arduino スケッチとパソコン間のシリアル通信は Firmata<sup>(注 10)</sup> というプロトコルを使うことによって簡単に実現できる。例えば Arduino からアナログ入力ピンの値を送りたいければ `Firmata.sendAnalog(analogPin, analogRead(analogPin))` のようにスケッチに書くことで値の変換処理などを自分で実装することなくデータ転送を実装できる。一方で分析結果の章で紹介した質問内容をはじめ関連する投稿を見ると、パソコン側では各言語におけるシリアル通信用ライブラリ、Arduino スケッチ側では Arduino 標準のシリアル通信インターフェースである `Serial` を使っているものがほとんどだった。したがって何らかの要因で Firmata が利用されていないことにより、スケッチ開発者が自分で低レベルなプロトコルを実装することになり、スケッチに不具合が混入しやすくなっていると考えられる。

#### Firmata が利用されていない理由

Firmata が利用されていない理由として以下の 3 つの要因を考える。

**要因 1** スケッチ開発者が Firmata を知らない

**要因 2** スケッチ開発者のハードウェアで Firmata が動作しない

まず要因 1 について議論する。Firmata について Arduino の公式サイトで検索<sup>(注 11)</sup> すると Firmata に関するチュートリアルページは一見すると内容に見え、ドキュメンテーションでもほとんどの関連ページが Reference に分類されている。したがってスケッチの開発者が Arduino の公式サイトだけを参照していると Firmata の存在を知ることができないと言える。

---

(注 10): <https://github.com/firmata/arduino>

(注 11): <https://search.arduino.cc/search?q=firmata>

次に要因 2 について議論する。Firmata では通信先の Arduino ボードを抽象化するために、Arduino ボード毎の抽象化レイヤーを実装する必要がある。これによって新しい Arduino ボードが開発されたときやスケッチ開発者が Arduino ボードを自作した場合、Firmata 自体を頻繁に改変する必要がある。実際 `firmata/arduino` の GitHub Issue <sup>(注 12)</sup> を見ると複数の Arduino ボードについて機能追加のリクエストが出ている。開発者の使いたい Arduino ボードが未対応の場合は Serial インターフェースなどを使った一般的な方法を使わざるを得なくなる。

## 5.2 シリアル通信機能の開発支援手法の提案

前の節では要因 2 でハードウェア抽象化機能が開発の負担となりうることを議論したが、実際にはハードウェア抽象化機能がなくても問題ないような場合がある。例えばシリアル通信についての質問を見ると Q11057, Q12079 のように単純なデータ送信のみ行いたい場合や Q7405 のように司令に対応する文字を送信するだけの場合はハードウェア抽象化機能が必要ない。したがって次のような機能を持つシリアル通信抽象化ライブラリを用意すれば、どのようなハードウェアでも簡単にパソコンとの通信が実装できるといえる。

- 数値データのエンコード・デコードをライブラリ内で行い隠蔽する
- データストリームと司令のやり取りを API で提供する
- ハードウェア抽象化などハードウェアに依存する機能は持たない

そこでハードウェアに依存しないより単純な通信ライブラリを提案する。このライブラリは仮想的なデータ伝送路であるチャンネルと、`"begin"`, `"push"`, `"sync"`, `"pop"` の 4 種類の API を持つ。API はそれぞれデータの伝送路の決定、データの送信、データの取得を実現するものである。例えば浮動小数点数を送る場合は次のようなフローで通信する。

1. 送信側、受信側の両方で `"begin"` を使って通信のための伝送路（シリアルポートなど）を指定する。
2. 送信側はあらかじめ決めたチャンネル番号と送信する値を `"pushFloat"` に渡す。

---

(注 12): <https://github.com/firmata/arduino/issues>

3. 送信側のライブラリ内で送信先チャンネル番号と浮動小数点数がエンコードされ伝送路に送られる.
4. 受信側で”sync”を呼び出すと受信バッファ内のデータがパースされる.
5. 受信側でチャンネル番号を”pop”に渡すと受信したデータが浮動小数点数であることとその値が返される.

センサーからの値をプロットする場合など、データをストリームしたい場合は送信側は”push”を、受信側は”sync”と”pop”をループ内などで定期的呼び出せば良い。またデータのストリームに加えて指令も送りたい場合は2つのチャンネルを用いて、片方でデータのストリーム、もう片方で司令に対応する文字などを送れば良い。



## 6. 妥当性への脅威

Stack Overflow に投稿された質問の分類は最終的に手作業で行ったため、質問内容の誤読などの要因で結果にバイアスが加わった可能性がある。また各トピック毎の投稿サンプルにおいてバイアスが加わった可能性がある。

投稿の分類の際トピックモデルとして LDA を用いたが LDA 内部にはランダムな挙動をする手順がある。したがって、LDADE を用いてハイパーパラメータを調整することによって分類結果の安定性が高くなるように考慮はしているものの、結果にバイアスが含まれる可能性がある。

## 7. 結言

本研究では Arduino におけるソフトウェア開発の支援を目的として、開発者向け質問掲示板サイト Stack Overflow の投稿を分析し、Arduino を使ったソフトウェア開発にはどのような問題があるのかを調査した。この調査によって Arduino を使ったソフトウェア開発では一般的なソフトウェア開発で問われるような質問の他に Arduino ボードとパソコン等との間の通信における問題や、Arduino の開発環境を使う上での問題などがあることを明らかにした。また、通信に関する問題について議論しシリアル通信を抽象化するためのライブラリである Firmata の問題点を示し、ハードウェアに依存しない通信抽象化ライブラリを提案した。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、研究方針を設定する上でのサポートをしてくださった情報工学専攻ソフトウェア工学研究室の水野修教授に厚くお礼申し上げます。また調査手法のアイデアを得ることや研究の着地点を決める上での様々な助言をくださった同研究室の崔恩瀨助教に心から感謝申し上げます。本研究を成り立たせる上でのベースとなった Stack Overflow 上の質問や回答を作成してくださった方々、研究生活全般にわたってサポートしてくださったソフトウェア工学研究室の皆さん、そして私の生活を支えてくださった大学やサークル関係者の方々、執筆者の父と母に感謝を申し上げます。

## 参考文献

- [1] A. Makhshari and A. Mesbah, “Iot bugs and development challenges,” 2021 IEEE/ACM 43rd International Conference on Software Engineering (ICSE), pp.460–472, IEEE, 2021.
- [2] A. Barua, S.W. Thomas, and A.E. Hassan, “What are developers talking about? an analysis of topics and trends in stack overflow,” *Empirical Software Engineering*, vol.19, pp.619–654, 2014.
- [3] G. Uddin, F. Sabir, Y.-G. Guéhéneuc, O. Alam, and F. Khomh, “An empirical study of iot topics in iot developer discussions on stack overflow,” *Empirical Software Engineering*, vol.26, pp.1–45, 2021.
- [4] S. Baltés, L. Dumani, C. Treude, and S. Diehl, “Sotorrent: reconstructing and analyzing the evolution of stack overflow posts,” in *Proceedings of the 15th International Conference on Mining Software Repositories, MSR 2018, Gothenburg, Sweden, May 28-29, 2018*, eds. A. Zaidman, Y. Kamei, and E. Hill, pp.319–330, ACM, 2018.
- [5] D.M. Blei, A.Y. Ng, and M.I. Jordan, “Latent dirichlet allocation,” *Journal of machine Learning research*, vol.3, no.Jan, pp.993–1022, 2003.
- [6] K.S. Jones and P. Willett, *Readings in information retrieval*, Morgan Kaufmann, 1997.
- [7] A. Agrawal, W. Fu, and T. Menzies, “What is wrong with topic modeling? and how to fix it using search-based software engineering,” *Information and Software Technology*, vol.98, pp.74–88, 2018.
- [8] D. Mimno, H. Wallach, E. Talley, M. Leenders, and A. McCallum, “Optimizing semantic coherence in topic models,” *Proceedings of the 2011 conference on empirical methods in natural language processing*, pp.262–272, 2011.

## 付録 A. 分析結果で挙げた Stack Overflow の投稿の例

Q12348 "Arduino I<sup>2</sup>C freezes after startup": <https://stackoverflow.com/questions/13186298/>

Q3346 "What's the difference between two methods of accessing thorough I2C bus?":  
<https://stackoverflow.com/questions/59921608/>

Q15501 "BLE encoding issue between iPhone and Arduino":  
<https://stackoverflow.com/questions/28934825/>

Q17817 "Arduino + AdaFruit Motor Shield 2.3 + bluetooth power issue?":  
<https://stackoverflow.com/questions/40353311/>

Q19467 "Python Arduino serial communication": <https://stackoverflow.com/questions/31975356/>

Q2452 "Pro Micro don't receiving anything via Serial1":  
<https://stackoverflow.com/questions/38026852/>

Q11057 "Fast plotting data in python": <https://stackoverflow.com/questions/31003837/>

Q12079 "How to speed up string splitting in Python":  
<https://stackoverflow.com/questions/44117412/>

Q14918 "Java Multithreading and Reading from Serial: How to Properly Suspend and Resume?": <https://stackoverflow.com/questions/21066910/>

Q11207 "Wireless Serial Communication": <https://stackoverflow.com/questions/45291714/>

Q7531 "Failed to sequentially send command/response (in bytes) from android app to arduino (and vice versa) via USB-OTG":  
<https://stackoverflow.com/questions/45267887/>

Q14215 "libusb: What is the source of these read errors?":  
<https://stackoverflow.com/questions/30630938/>

Q19777 "Trying to add data to my MySQL database using POST":  
<https://stackoverflow.com/questions/49540852/>

Q6425 "Arduino UNO, update data in MySQL table":  
<https://stackoverflow.com/questions/44998572/>

Q13958 "Can I use HTTPS and SSE client libraries on Arduino PORTENTA Machine Control board?": <https://stackoverflow.com/questions/68115972/>

Q20071 "Arduino sending inconsistent UDP messages": <https://stackoverflow.com/questions/51115584/>

Q2961 "Arduino: UDP sending yields extra characters": <https://stackoverflow.com/questions/11553597/>

Q14649 "Issue with Wi-Fi NINA to get JSON data": <https://stackoverflow.com/questions/68382412/>

Q10677 "ESP8266 getting garbage data from char array": <https://stackoverflow.com/questions/53676929/>

Q4556 "HTTP POST in Arduino MKGSM to Eventhub": <https://stackoverflow.com/questions/52327088/>

Q9956 "Arduino GSM Gboard Sim900: failed to connect to server": <https://stackoverflow.com/questions/41351363/>

Q17187 "Why i cant just connect directly to Firebase Realtime Database from my Arduino?": <https://stackoverflow.com/questions/67743235/>

Q5445 "Why SIM900 with ATMEGA328PU give different Result when given inputs from different PC's Arduino Serial Monitor?": <https://stackoverflow.com/questions/48400509/>

Q7493 "PyModbus RTU response received even if there is no connection": <https://stackoverflow.com/questions/51034804/>

Q1169 "Zigbee/Xbee as Receiver and Transmitter - missing packets on receiver side": <https://stackoverflow.com/questions/33299756/>

Q18815 "Arduino SPI interface reading random values? (Trying to use a CAN Bus Shield)": <https://stackoverflow.com/questions/59627480/>

Q8043 "Arduino Knolleary PubSubClient will publish messages but can't receive them": <https://stackoverflow.com/questions/19187921/>

Q5776 "ASCII of integer to integer in Arduino": <https://stackoverflow.com/questions/64262376/>

Q10540 "NodeMCU resets in MQTT": <https://stackoverflow.com/questions/55773179/>

Q11120 "Issues with ESP8266 loading files/pictures using SPIFFS-ERR\_CONNECTION\_RESET": <https://stackoverflow.com/questions/38082218/>

Q3642 "Arduino Bootstrap not working - MKR WiFi 1010": <https://stackoverflow.com/questions/60447771/>

Q5448 "Arduino wifi server created many clients and lost connection": <https://stackoverflow.com/questions/38045838/>

Q549 "ESP32 not functioning WIFI": <https://stackoverflow.com/questions/73141703/>

Q12019 "ESP32 LEDC set frequency causes exception": <https://stackoverflow.com/questions/70069301/>

Q17112 "MQTT-SN Gateway - Not able to publish or changed my clientID, but able to connect and subscribe?": <https://stackoverflow.com/questions/61713405/>

Q12060 "ESP8266 HTTP get request is returning invalid http code -1": <https://stackoverflow.com/questions/64302383/>

Q14207 "How to measure the time interval between two inputs on pin2 in Arduino?": <https://stackoverflow.com/questions/61170667/>

Q12330 "Cortex M0+ (SAMD21) not executing pending interrupt": <https://stackoverflow.com/questions/37958762/>

Q4323 "C++ reading off ADC at pace of CLK frequency": <https://stackoverflow.com/questions/67267857/>

Q17638 "Arduino, delay in a task scheduler": <https://stackoverflow.com/questions/23312619/>

Q6470 "Timewidget Input from blynk app": <https://stackoverflow.com/questions/51683528/>

Q17529 "Problem with using derived class where base class is expected": <https://stackoverflow.com/questions/72988260/>

Q8302 "Serial Printing Variables at a Specific Time Intervals Prints Size of Array Even If Array Is Not Used": <https://stackoverflow.com/questions/40554356/>

Q12890 "Reading a Serial Port - Ignore portion of data written to serial port for certain time": <https://stackoverflow.com/questions/19874623/>

Q17177 "ESP8266 Panic crashing when updating HTML template though Serial communication with Arduino": <https://stackoverflow.com/questions/70233532/>

Q1602 "Why ESP8266 hangs in this part of code?": <https://stackoverflow.com/questions/45492346/>

Q6707 "Arduino Memory Leakage": <https://stackoverflow.com/questions/25601716/>

Q10803 "How to disable other buttons while one of the buttons is pressed and reset by pressing another button": <https://stackoverflow.com/questions/67833449/>

Q20387 "registering if a button is pressed": <https://stackoverflow.com/questions/58981913/>

Q1050 "How to hold value for the state of a button for a timer?": <https://stackoverflow.com/questions/55974470/>

Q3075 "Is there a way to convert raw MPU-6050 data to a 0-359 rotational data": <https://stackoverflow.com/questions/61754933/>

Q15378 "Storing many objects and their data within arrays from IMUs for further calculation": <https://stackoverflow.com/questions/68517847/>

Q3467 "what to do with unstable ultrasonic sensor values": <https://stackoverflow.com/questions/70145994/>

Q15267 "Controlling Light With Photoresistor And Serial Communication - Arduino": <https://stackoverflow.com/questions/18840864/>

Q1913 "Arduino 4-20ma Accuracy": <https://stackoverflow.com/questions/43659369/>

Q19152 "Arduino Balance library error": <https://stackoverflow.com/questions/41279525/arduino-balance-library-error>

Q14689 "differences in bitmap or rasterized font bitmaps and text display on 3.5" TFT LCD": <https://stackoverflow.com/questions/67465098/>

Q7517 "Arduino SD card select delete": <https://stackoverflow.com/questions/16956238/>

Q1964 "Arduino IDE ESP32 device using SPIFFS to save":  
<https://stackoverflow.com/questions/67121600/>

Q18177 "Time interval - I want something to happen every x milliseconds (Arduino-not relevant)": <https://stackoverflow.com/questions/30394316/>

Q16012 "I am not sure how to use Serial.println [closed]":  
<https://stackoverflow.com/questions/62492621/>

Q3877 "GSM shield and Ethernet shield compatibility":  
<https://stackoverflow.com/questions/24404602/>

Q9083 "Using Sparkfun's MP3 player shield with an Arduino Ethernet Pro - SPI problems": <https://stackoverflow.com/questions/10150588/>

Q7415 "Why arduino voltage read is higher when there is relay turned on (a load on a digital pin)": <https://stackoverflow.com/questions/25475259/>

Q17855 "Problem with Flash size on ESP8266-01S on VSCode (PlatformIO)":  
<https://stackoverflow.com/questions/70238001/>

Q10099 "Arduino error "unable to find a register to spill in class 'NO\_REGS'":  
<https://stackoverflow.com/questions/39255127/>

Q20001 "How to use Arduino-Makefile with Sparkfun Pro Micro?":  
"<https://stackoverflow.com/questions/33158180/>"

Q349 "Arduino program with C++ Visual studio Community 2013":  
<https://stackoverflow.com/questions/27920554/>

Q3339 "Compiling error in Arduino library": <https://stackoverflow.com/questions/38425750/>

Q2032 "In function 'setup': speck.ino undefined reference error on Arduino-Uno board":  
<https://stackoverflow.com/questions/54539079/>

Q17792 "IoT DevKit Setup Issue: What Should I Select for Board Type?":  
<https://stackoverflow.com/questions/50707784/>

Q7351 "Why is there no function findCard() in the class RFID?":  
<https://stackoverflow.com/questions/55359233/>



Q11896 "How to prevent memory gaps in C++ new/delete?":  
<https://stackoverflow.com/questions/66529637/>

Q3323 "Operator new for Arduino": <https://stackoverflow.com/questions/16274451/>

Q15315 "Arduino C random LED code not turning on all the LEDs":  
<https://stackoverflow.com/questions/47021714/>

Q1255 "Overloaded function call double is Ambiguous":  
<https://stackoverflow.com/questions/41688952/>

Q2298 "Arduino int16\_t to uint8\_t conversion weirdness":  
<https://stackoverflow.com/questions/44186138/>

Q19208 "ARDUINO Element in array won't get assigned a value":  
<https://stackoverflow.com/questions/67232132/>

Q18126 "Platformio compile error: ArduinoJson6100\_100::DynamicJsonDocument has no member named 'nestingLimit': <https://stackoverflow.com/questions/55428794/>

Q15031 "Can I use a class to control objects from another class in C++? (Arduino)":  
<https://stackoverflow.com/questions/62617458/>

Q5328 "Arduino digitalWrite not working like it should":  
<https://stackoverflow.com/questions/29132067/>

Q8967 "Toggle a single bit on Arduino + 74HC165 + SPI":  
<https://stackoverflow.com/questions/41869240/>

Q14481 "Is it possible to use a SPI flash chip with a arduino (Atmega328p)":  
<https://stackoverflow.com/questions/56322651/>

Q18624 "Why Vector is not storing Strings ? (Arduino) ":  
<https://stackoverflow.com/questions/63558466/>

Q9396 "Stumped. Bool values from class objects are returning ascending integers?":  
<https://stackoverflow.com/questions/72149556/>

Q6146 "esp32\_cam read and process image": <https://stackoverflow.com/questions/64264509/>

Q5190 "Multiple tracks audio": <https://stackoverflow.com/questions/40796425/>

Q7405 "Arduino Processing communication repeating action":

<https://stackoverflow.com/questions/41728126/>