

ワンボードマイコンによるサーバ機能の実装と教材化に関する研究

A study on implementation of server function by one-board microcomputer and development of its teaching materials

芹 川 友 太

Yuta SERIKAWA
福岡市立下山門中学校

野 方 健 治

Kenji NOGATA
技術教育研究ユニット

白 石 正 人

Masato SHIRAISHI
技術教育研究ユニット

(令和5年9月4日受付, 令和5年12月22日受理)

抄 録

中学校技術・家庭科技術分野の「ネットワークを利用した双方向性のあるコンテンツのプログラミング」の学習活動について, ワンボードマイコンである Raspberry Pi をサーバにし, 無線 LAN を介して生徒の Chromebook での利用を想定した教材化を試みた。Raspberry Pi には, Linux 系の OS である Raspbian をインストールするとともに Web サーバの Apache や PHP を併せてインストールおよび設定した。Raspberry Pi をサーバとして PHP による Web 掲示板のプログラミング学習について, その学習指導案等を考案するとともに, 学部学生に試行した。その試行授業については, MRTG でネットワークのトラフィック量, CPU 使用率, メモリ使用量を計測した結果, ワンボードマイコンにおいてもサーバが有効に機能することか認められた。また, 考案した指導法についてもアンケート調査結果から知識が向上したことが認められた。

キーワード: サーバ, プログラミング学習, 双方向コンテンツ, ワンボードマイコン

1. 緒言

GIGA スクール構想¹⁾により一人一台端末と高速大容量ネットワークの一体的な整備が行われた。「端末の利活用状況等の実態調査」²⁾によれば, 令和3年7月末時点での端末の整備状況は, 公立中学校は96.5%となっている。その整備された端末に対する OS 別の台数割合は ChromeOS が40.1%, WindowsOS が30.4%, iOS が29.0%と自治体により異なる OS の端末を採用している実態がある。

異なる OS の端末が導入されたことにより, 以前まで中学校技術・家庭科技術分野(以下, 技術分野と略す。)³⁾の授業で使用していたプログラミング教材が OS の違いのため使用できないことや, 一人一台端末が整備されたためコンピュータ教室を廃止する中学校も出ている。

コンピュータ教室の廃止と無線 LAN および一人一台端末の整備といった学習環境の変化に伴

い, 「ネットワークを利用した双方向性のあるコンテンツのプログラミング」(以下, 双方向コンテンツのプログラミングと略す。)の学習については, 従来のコンピュータ教室における実習ではなく, ChromeOS 等の非 Windows のタブレット等の端末を想定した教材化が必要不可欠となった。また, 課題解決のプロセスにおいて, 情報通信ネットワークの構成を理解させる場合, サーバ・クライアントにおけるサーバを用いたプログラミングの実践が必要であると考えた。

これまでの双方向コンテンツのプログラミングに関わる授業実践等においては, 山田らの国土地理院サーバを用いた JavaScript によるプログラミングの授業実践⁴⁾や, 鈴木らのチャットボットのプログラミング教材⁵⁾が開発されている。これらは校外のサーバを利用し, スタンドアロンなプログラミング環境の下で実践したものであり, 厳密に言えば「ネットワークを利用した」あるいは,

表 1 OS 搭載可能なワンボードマイコン一覧

名称	CPU	メモリ	ストレージ	OS
Raspberry Pi 4b	Broadcom BCM2711, Cortex-A72	2GB/4GB/8GB	microSD	・Android ・Raspbian
Beaglebone Black	ARM Cortex-A8	512MB (DDR3L)	eMMC 2GB + microSD	・Android ・Linux
UP Core	Intel® Atom™ x5-Z8350	2GB/4GB (DDR3L-1600)	16GB/2GB/64eMMC	・Windows10 ・Linux ・Ubuntu ・Android
Banana Pi	ARM Cortex-A7	1GB (DDR3)	SD, MMC	・Lubuntu ・Fedora ・FreeBSD ・Bananian ・Android
Intel Galileo Gen 2	Quark SoC X1000 (最大 400MHz)	256MB (DDR3-800)	microSD	・Linux

「サーバを利用した」授業実践とは言い難い。校内に独自のサーバを立て、それを利用した双方向コンテンツのプログラミングについては、ほとんど実践されていない。サーバを学習対象とした授業実践がぜひとも必要であると考えた。

校内で設置するサーバの選択肢としては、PCにXampp⁶⁾等のサーバ用アプリをインストールする方法や、ChromeOSの端末にLinuxをインストールすること、さらにワンボードマイコンなどの低コストなサーバの利用等が考えられる。PCにサーバソフトXamppを設定することについては、同時接続数の制限があり、クラス単位での利用については問題がある。Windows Server という Microsoft 社製のサーバ用 OS は、非常にコストが高く現実的な選択肢ではない。Chromebook に Linux を設定することは可能であるが、インストールおよび設定作業を実践したところ現職教員にとっては、馴染みのない Linux のコマンド等の知識を必要とすることやインストール・設定作業のハードルが高いと考えた。

表 1 に OS を搭載可能なワンボードマイコンの一覧とその仕様を示す。Up Core のみ 1 万円を超えるが、それ以外は 1 万円未満である。特に値段が安く、オンボードで多くのメモリを搭載し、無線 LAN 機能を備え、Raspbian⁷⁾ という Linux 系の OS としてサーバ機能を提供可能な Raspberry Pi 4b (以下、Raspberry Pi と略す。)を選択した。

低価格のワンボードマイコンである Raspberry Pi (図 1 参照) は専用 OS がフリーソフトとして入手可能であり、サーバ化することが比較的容易

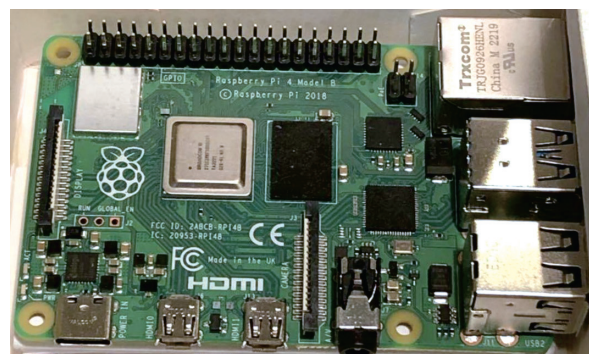


図 1 Raspberry Pi 4b の外観

である。また、無線 LAN については設定なしで接続可能である。無線 LAN 環境下において、プライベート IP アドレスを用いたサーバへのアクセスが可能であることから、IP アドレスとネットワークの仕組みを学習することに適していると考えた。今回は、Chromebook を端末として使用することを想定して、授業の指導法(教材と学習指導案)を考案した。その考案した指導法で学部学生に試行授業を行い、事前・事後アンケートによって考案した指導法の有効性を、また、ネットワーク監視プログラム MRTG⁸⁾によって Raspberry Pi をサーバ化した場合の性能等について検証した。

2. 考案した指導法

技術分野の 3 年間の授業時数は、4 つある学習内容の授業を均等に配分することを想定すれば、「情報の技術」に関して 21.9 時間である。情報の技術は第 3 学年で行われることが多いことを考慮し、18 時間を想定した。双方向コンテンツのプログラミングについては、表 2 に示す単元指導計画を想定している。

1・2 時間目にネットワークの仕組みと HTML の記述の仕方について学習する。3 時間目に CSS の記述の方法について学習する。4 時間目に本試行授業の PHP⁹⁾について学習し、5・6 時間目に HTML, CSS, PHP を利用した課題解決の学習を行う。本単元では、サーバとタブレットを使って無線 LAN で双方向コンテンツのプログラミングの授業を行うことで、課題解決による学習活動を行うことができる。また、学習指導要領³⁾の「ア 情報通信ネットワークの構成と、情報を利用するための基本的な仕組みを理解し、安全・適切なプログラムの制作、動作の確認及びデバッグ等ができること。」に対応することができると考えている。

表2 単元計画の配時

時 数	内 容
2	・ ネットワークの仕組み ・ HTML の記述方法 ・ Web ページの制作
1	・ CSS の役割と記述方法 ・ Web ページの制作
1 (本時)	・ PHP の役割と記述方法 ・ 掲示板の制作
2	・ 課題設定・Web ページの制作 ・ Web ページの発表 ・ 制作した Web ページの評価

プログラミング環境については、サーバとしてワンボードマイコンである Raspberry Pi を使用している。さらに Linux ベースの独自 OS である Raspbian および Apache や FTP など必要となるサーバ機能ソフトが現職教員にとって比較的容易にインストール可能である。加えて、標準のネットワーク設定で無線 LAN のルータに変更なく接続可能である。また、プログラミング言語としてサーバサイドスクリプトである PHP を使用する。サーバが利用できるため、このプログラム言語が利用可能であることと、学習指導要領解説³⁾に記載された掲示板のプログラムが PHP で簡単に記述できるからである。例えば、Scratch とその Mesh 機能を用いたメッセージ交換¹⁰⁾については、クライアント間のメッセージ交換に留まっており、サーバを介していない。1 対多の通信を可能にする掲示板には、やはりサーバが不可欠であると考えている。

4 限目には、このサーバを用いてプログラミングする学習活動を構想し、試行授業によってその学習効果やサーバの性能評価を検証した。図2は、その学習指導案である。学習活動については、まず、前時に学習した HTML や CSS を振り返り、掲示板の完成版を生徒に提示して作成する課題へのイメージを持たせる。続いて本時のめあてを板書し、サーバの役割を捉えさせるために、ネットワークの仕組みを図3に示すような模式図を用いた図を提示する。

続いて、サーバサイドスクリプトの役割を捉えさせるために、日付を表示する HTML と PHP で実行された Web ページを提示する。さらに、掲示板に書き込みがあった場合の PHP の動作を説明することで、PHP の役割を捉えさせる。Chromebook の Chrome にその拡張機能である Secure Shell を設定しておくことで、ネットワークを介してクライアントである Chromebook か

6 主眼 PHP の特徴を探ることを通して、掲示板を作成することができる。				
7 準備 ① Raspberry Pi ② Chromebook ③ 掲示板作成用ファイル				
8 過程				
学習活動・内容	準備	手だて (○) と評価 (◇)	形態	配時
1. ウェブサイトの構成要素について復習する。 ・ HTML と CSS について めあて PHP の特徴をまとめ、掲示板を作成しよう	① ②	○ 前時の内容を想起させるために、前時に作成した HTML と CSS を提示する。 ○ 作成する掲示板のイメージを持たせるために、掲示板の完成したものを提示する。	一斉	5
2. PHP について ・ サーバについて ・ サーバサイドスクリプトについて ・ PHP の記述方法について ・ 「Secure Shell」について		○ サーバの役割をとらえさせるために、ネットワークの仕組みを模した図を提示する。 ○ サーバサイドスクリプトとは何かをとらえさせるために、日付の表示をする HTML と PHP それぞれで書かれた Web ページを提示する。 ○ PHP の役割をとらえさせるために、掲示板上で書き込みがあった際に HTML 上では変更があるか問う。	一斉	10
3. 掲示板を作成する。 ・ 入力した内容の送信方法について ・ PHP 部分の実行内容について ・ DAT ファイルのパーミッションの変更方法について	③	○ 各行の役割を確認させるためにプログラムの内容をコメントアウトしておく。 ○ Secure Shell を使ったデータの転送方法をスライドで提示する。	一斉	30
4. 本時の学習内容をまとめる。 ・ 他の人が作成した掲示板の閲覧方法について		○ サーバの仕組みをとらえさせるためにほかの人が作成した掲示板の閲覧方法を問う。 ◇ 掲示板のプログラムを作成することができたか。	一斉	5
<学習プリント分析>				

図2 本時の学習指導案

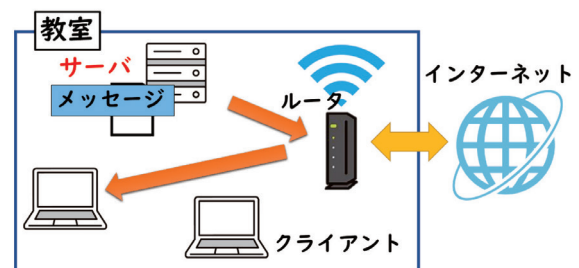


図3 ネットワークの仕組みを示す模式図

らサーバ内のファイルを編集することができる。

図4は、この Secure Shell の実行画面を示したものである。これを用いて、各自の Chromebook に掲示板のプログラムをサーバからダウンロードさせ、プログラム中の空欄を埋めることでプログラムを完成させる。図5は、今回利用した掲示板プログラムの完成版である。Chromebook 内の Text エディタでダウンロードされたプログラムを編集して完成させ、サーバにアップロードして、実行する。サーバには生徒分のフォルダを予め作成しておき、各自のフォルダにアップロードさせる。

図6にこの掲示板の実行画面を示す。サーバへ



図4 Secure Shellの実行画面



図5 掲示板プログラム

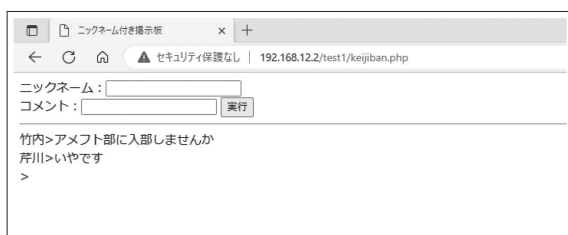


図6 掲示板の実行画面

表3 試行授業の概要

項目	内容
実施日時	2022年11月15日 第三校時
実施場所	ものづくり創造教育センター B 棟 技術2番教室
実施時間	70分
調査協力者	学部2年生9名



図7 試行授業の写真

はIPアドレスを入力することで完成したプログラムを実行することができる。最後に、フォルダ名を変更することで他の人が作成した掲示板にアクセスすることでメッセージを書き込むことが可能である。

本時の試行授業では、データの送受信の負荷がどれほどあるのかを調べるためにネットワーク監視プログラムであるMRTGを使用する。MRTGでネットワークのトラフィック量、CPU使用率、メモリ使用量を計測する。これらのデータから、サーバとして運用したRaspberry Piが、授業に利用可能な性能であるか検証した。

3. 試行授業

考案した学習指導案を基に学部学生に対して試行授業を行った。その授業の前後にアンケートを行い、授業の有効性、改善点などについて検証することとRaspberry Piが授業における負荷に耐えることができるか検証する。試行授業の概要を表3に示す。図7に試行授業の写真を示す。

4. 調査結果

試行授業の前後で事前・事後アンケートを実施した。アンケート調査結果を表4に示す。回答はいずれも5件法であり、「できる」を5とし、「できない」を1とした平均を示している。事前アンケートでは、生徒のサーバとPHPに対する知識や使用経験について問い。事後アンケートでは、プログラムの制作結果や中学校への活用可能性に

表4 事前・事後アンケートの結果

質 問	事前	事後	増減
サーバとは何か説明できますか	2.78	4.11	+1.33
PHP の特徴を説明できますか	2.11	3.89	+1.78
PHP を利用して掲示板を制作することができますか	2.00	3.89	+1.89
ネットワークの仕組みを意識して掲示板を制作することができたか		3.67	
この授業を中学校技術で行うことが可能であるか		4.11	

ついて追加して問うている。改善点等を問う質問として、事後アンケートに自由記述欄を設けた。その回答には「中学生に対して今日の話の中で出てきた用語を理解させた上で授業するのは非常に難しいと思います。」「中学生が本当にできるのかなと思いました。」という回答が見られた。

事前アンケートと事後アンケートを5件法の平均値で比較すると「サーバとは何か説明できますか」という問いは、事前アンケートでは2.78、事後アンケートでは4.11であり、「PHPの特徴を説明できますか」という問いでは事前アンケートでは2.11であり、事後アンケートでは3.89となり、授業前よりも授業後のほうがサーバとPHPに対する理解度が高まったことが分かった。また、「PHPを利用して掲示板を制作することができますか」という問いから、事前アンケートでは平均値が2.00であり、事後アンケートでは3.89であることから、試行授業を通してPHPを利用してWebページを制作する技能が身についたことが事前、事後アンケートの比較から明らかとなった。

事後アンケートより、すべての被験者が掲示板を完成させることができたこと、ほとんどの被験者がネットワークの仕組みを意識して活動に取り組めたことから、授業内容や指導方法、手立ては適切だったといえる。

次に、MRTGによる計測結果については、図8にネットワークのトラフィック量を、図9にCPU負荷を、図10にメモリ使用量を示す。図中の実線は、授業開始時を点線は授業終了時を示す。時間は、左から右へ推移していることに注意する。

5. 考察

まず、本試行授業の事前・事後アンケートより、学習効果について考察する。事前アンケートより、サーバを利用したWebページの制作を行った経験があると答えた学生が多かったにもかかわらず、サーバへの理解度が低いことが分かっ

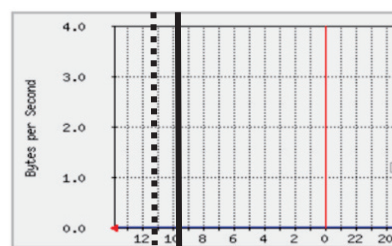


図8 トラフィック量

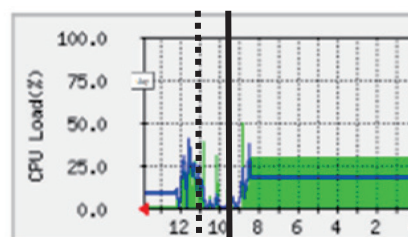


図9 CPU 負荷

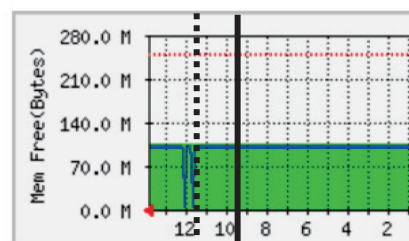


図10 メモリ使用量

た。また、事前・事後のアンケート結果から、自己評価であるものの、サーバの知識、PHPの特徴、掲示板作成への理解度は、いずれも向上したことが認められた。これらのことから、今回行った試行授業で、PHPを利用した掲示板の制作が、双方向コンテンツのプログラミングを行う授業としての有効性が認められた。事後アンケートより技術分野で本試行授業を行うことが可能であるとほとんどの被験者が回答している一方で、自由記述では「中学生には難しい」といった回答が見られた。そのため、「知識・技能」面で授業内容をさらに工夫・改善する課題も明らかになった。

次に、MRTGの計測結果から、Raspberry Piをサーバ負荷の面におけるサーバとしての運用について考察していく。まず、ネットワークトラフィック量に関して5分間の平均をグラフに生成するように設定されている。データの送受信は10時前から11時の間に行われているため横軸の10と12の間に注目すると、グラフがほとんど動いていないことがわかる。このため本試行授業においてはサーバに対するネットワークの負荷がほとんどないことが明らかになった。完成させた掲

示板プログラムのファイルサイズはいずれも 1.2 キロバイトほどでデータ量が大きくないためこのような結果になったと考えられる。次に、CPU 負荷について考察する。図 9 の縦軸は CPU 負荷で横軸は時間である。これも同様に 10 時前から 11 時の間に注目すると 50% も使用していないことがわかる。そのため複数のアクセスが同一時間帯に重なってもサーバの CPU 負荷はそこまで大きくないことが明らかとなった。最後にメモリ使用量について考察していく。図 10 の縦軸はメモリの使用量を示しており、横軸は時間である。10 時前から 11 時の間に注目すると、それまでの時間とメモリの使用量が変化していない。このことから掲示板の送受信ではメモリの使用量に大きな変化はないことが明らかになった。

これらのことから、一クラス 35 名を想定した授業においても約 4 倍の負荷が想定されるものの、上記の結果から十分なレスポンスが期待できることが認められた。

6. 結言

本研究では、サーバを用いたネットワーク環境と ChromeOS を搭載した Chromebook を実習環境に想定し、双方向コンテンツのプログラミングの学習指導案を考案し、それらを基に学部学生を対象にした試行授業を実施し、事前・事後アンケートを行った。その調査結果から被験者の知識・技能が向上しており、双方向コンテンツのプログラミングの授業として一定の学習効果が認められた。また、MRTG の計測結果より、本試行授業のようなデータ量が少ないファイルの転送においてはサーバおよびネットワークに対する負荷は少ないこと、CPU に対する負荷およびメモリ使用量が少ないことが明らかとなったため、今回サーバとして想定したワンボードマイコンである Raspberry Pi をサーバとして授業に活用することは可能であることが認められた。

これまで実施された授業実践では、ネットワークを利用した実習が要求されているにも関わらず、サーバを活用した授業はほとんど実施されていない。1 つの要因としては現職教員にとって、サーバを教材化することが難しいと考えられていたからである。今回、Raspberry Pi の OS である Raspbian と Web サーバとして現職の教員が設定可能な手法を提案し、具体的に無線 LAN 環境下でのネットワークを利用したコンテンツのダウンロードとアップロードを行うことと、掲示板による相互コメントにより具体的なネットワーク

およびサーバの教材化が実現できた。

次に、今回行った試行授業について中学生を対象に授業実践する必要がある。クラス全員が完了するのにそれなりの時間を要することが予想され、さらに課題解決の授業を行っていくには変数や授業で取り扱っていない関数を使用する必要がある、少し難易度が高い。掲示板の制作においても学部学生でも時間を要したため、中学生はもっと時間がかかるだろう。また、試行授業の事後アンケートの自由記述から、中学生にとっては難易度が高いとの回答があった。中学生相手にこの授業を行う際に難易度の高い内容を分かりやすく指導する手立てをさらに工夫する必要があると考えた。

参考文献

- 1) 文部科学省：GIGA スクール構想の実現へ、https://www.mext.go.jp/content/20200625-mxt_syoto01-000003278_1.pdf
- 2) 文部科学省：端末の利活用状況等の実態調査、https://www.mext.go.jp/content/20210830-mxt_jogai01-000009827_10.pdf
- 3) 文部科学省：中学校学習指導要領（平成 29 年告示）解説 技術・家庭編，開隆堂出版，（2018）
- 4) 山田哲也，伊藤陽介：地図コンテンツを活用し防災に関する問題の解決を通して深い学びを実現するための技術教育，日本産業技術教育学会誌，Vol.61，No.4，pp.315-321（2019）
- 5) 鈴木隆将，小島一生，才田亘，志甫知紀，村松浩幸：チャットボットを題材とした双方向性のあるコンテンツのプログラミング教材の開発，日本産業技術教育学会誌，Vol.62，No.2，pp.113-122（2020）
- 6) Apache Friends: XAMPP Installers and Downloads for Apache Friends, <https://www.apachefriends.org/jp/index.html>
- 7) FrontPage-Raspbian, <https://www.raspbian.org/FrontPage>
- 8) MRTG - Tobi Oetiker's MRTG - The Multi Router Traffic Grapher, <https://oss.oetiker.ch/mrtg/index.en.html>
- 9) The PHP Group: PHP: Hypertext Preprocessor, <https://www.php.net/>
- 10) 開隆堂出版：やってみよう中学校技術・家庭科 [技術分野] 教授用資料プログラミング，https://www.kairyudo.co.jp/contents/02_chu/gijutsu/h33iko/yattemiyo.pdf