

WebAssembly を用いたブラウザ上で完結する C 言語の TDD 式学習システムの構築と提案

電気情報工学科 E2201715 小島 一泰
(指導教員 笠井 聖二)

1 はじめに

小学生や中学生のプログラミング教育の必修化に見られるようにプログラム教育の重要性は増しており、特に工学系ではC言語が必要言語の一つである。

しかし、高専においても「授業方法や実習方法に問題がある」や「友達のコードを写すことで課題提出をこなし、理解していない」、「授業時間外でプログラミングをする機会が少ない」などの要因により、「学生による習得度合の大きな違い」や「自分が何をしているのか、何を作っているのかわからない」という問題が発生している。

2 研究方法と研究意義

本研究では、ブラウザ上で完結し軽量かつテスト可能な学習環境を提案する。まずブラウザ上で完結することで「授業時間外でプログラミングをする機会が少ない」問題を解決できる。これは学習者が自主学習をするにはPCに授業などと同じ学習環境を用意する必要があるが、一般に学習環境を容易するのは困難である。これに関してはのちに記載するアンケートの結果からもわかる。しかし今回構築したシステムはブラウザ上で完結しているため、学習者はブラウザのみ使えばよく、プログラミングを始める壁を低くすることができるため、自主学習を促すことへ繋がる。ブラウザ上で完結する学習環境に類するものに、「paiza.io(<https://paiza.io/ja>)」といったブラウザ上で完結する実行環境というものがあるが、これはブラウザ上でプログラムを記述し、サーバー側でコンパイル、実行などを行い、結果のみを返却、ユーザーに表示するものである。標準入力についてはコンパイル時にサーバー側に送る必要があるが、インタラクティブではないため、ユーザーは全ての動作を実行前に知っておく必要があり、制約も多い。

次に軽量である意義についてである。統合開発環境(IDE)も学習環境の一つとして挙げられるが、一般に推奨環境のスペックが高く、学校などの既存PCからの置き換えや学生に対し、高額なPCの購入を求めることは難しい。そこでブラウザ上で動作するこのシステムは安価で性能の低いPCなどでも十分動作するため、現在の環境からへの移行が容易かつ素早く行える。

最後にテスト可能である意義についてである。なお本文中に用いられているテストとはテスト駆動開発(TDD)を指す。「友達のコードを写し課題提出をこなし、理解していない場合」というのは、学習者自身が課題を達するのに必要な知識や問題の細分化などを行えていない可能性が

高いと考えた。テストを取り入れることで従来のコンパイルや実行、標準入力による動作確認などを簡略化、時間短縮させることができる。その結果トライアンドエラーの高速化、効率化を測ることで本来の学習に時間を割くことができるようになる。さらにテストケースから自分の作るプログラムの最終的な動作イメージを具体的につかむことで、より完成や動作を意識した学習になるだろう。

C言語でテストを行うためにGoogleTestのようなテストフレームワークも存在するが、これらは設定やテストの記述が難解であり実行の手間も大きい。従って授業のようにテストを柔軟に変更、簡単に実施する必要があるため適さないと考える。そして、先にも述べたブラウザ上で完結する実行環境にはテストまでをサポートしたものはなく、既存プロダクトでは本研究目的は達せない。

これらより、構築した学習環境で学習した結果、学生間における習得度のバラツキが抑えられるとともに、実験実習などへの理解を深めることも可能であると推察する。

3 実装方法と構築したシステムについて

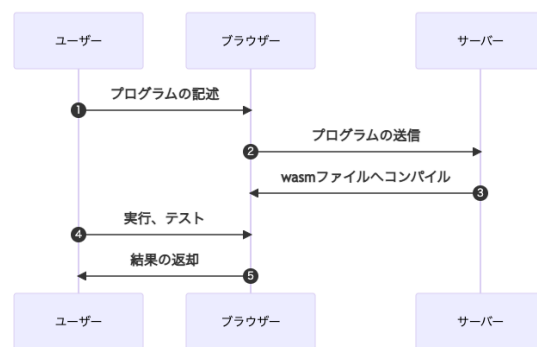


図1 システム構成におけるシーケンス図

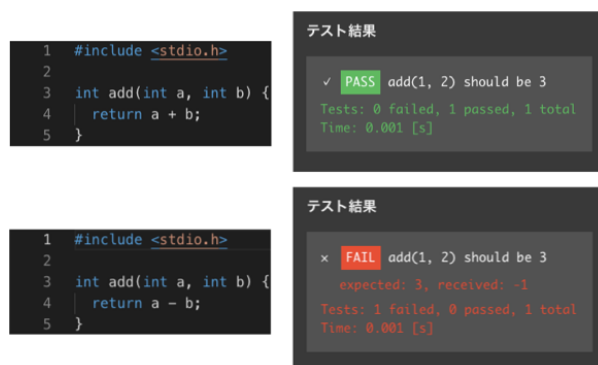


図2 テストの様子

実装した機能はコンパイル, 実行, テスト, 整形, ダウンロード, 標準入出力, マウスホバーによるヒント, クイックフィックス, 補完機能, 自動保存, URL による共有, 言語切り替え, 環境変数, コマンドライン引数の変更などである。整形とはルールに従ってプログラムの動作を変えずに見た目を整えるものである。マウスホバーによるヒントとは, 変数や関数にマウスをホバーするとその説明や詳細が表示される機能である。クイックフィックスとは機械的に修正可能なものを修正する機能である(例: セミコロンの忘れなど)。補完機能とは宣言済みの変数や関数, for 文などの構文を最初の数タイプするとメニューが表示され, 選択すると自動で挿入されるものである。自動保存とは 500ms 毎にブラウザ自体にプログラム等を保存し, ブラウザを閉じて再度復元可能な機能である。URL による共有とはプログラムやテストなどを LZ 符号で符号化, 圧縮化し, URL に付与することで, その URL に全ての状態を格納することができるため, 他者が共有された URL をブラウザで開くと同じ状態を再現できるものである。またテストとは, 図2に示すように関数に対して単体テストを実施し, その結果を表示するものである。図2の add とは 2 つの int 型の引数を取り, その引数同士を足し合わせた int 値を返す関数である。この例では引数に(1, 2)の場合を渡し, 返り値に 3 を期待している。下の例では 4 行目の実装が間違っているため返却値は期待値と異なり-1となっている。

またこれらのテストなどは管理ページを別途設けており, そこから生成可能である。

次に本システムの特徴的な点はテストであるが, 今回は単体テストを可能にするために関数に直接引数を渡す必要があった WebAssembly では 4 つの型(i32:32 ビット整数, i64:64 ビット整数, f32:32 ビット浮動小数点数, f64:64 ビット浮動小数点数)のみしか扱えないため, 全ての引数を数値として扱う必要がある。逆に C 言語では int 型などの引数は関数に直接渡すことができるが, 配列や文字列などはポインタ変数を渡す必要がある。また WebAssembly は 1 つの単純なメモリモデルを持っており, 長さとおフセットの情報のみしか持っていない。そこで文字列を渡す際には線形メモリ上に文字列長と, いくつかのおフセットを挟んだのち文字列をエンコードしたバイト(以下, 開始アドレスという)を格納することとした。また単体テストで使う引数には開始アドレスを渡す。またテスト終了時には開始アドレスを用いて, 文字列長を取得し, 開始アドレスから文字列長文だけデコードすることで読み出すこととした。

4 本研究の評価について

本研究では構築したシステムが「はじめに」に記した通りの効果を得られるかどうかの評価に, 呉工業高等専門学校 電気情報工学科に在学する学生に対し, 執筆者が用意

したテストを満たすように関数を実装してもらい, その利便性や使い勝手などに関するアンケート調査を 17 名の学生を対象に行なった。

「プログラミングは得意ですか?」という問いに対する回答は”とても苦手”と”少し苦手”が 23.5%, ”普通”が 41.2%, ”少し得意”が 11.8%, ”とても得意”が 0%と多くの学生がプログラミングへ苦手意識を持っていることが伺える。「自分の PC に予習や復習のために学校と同じ学習環境を整えたことはありますか」という問いに対する回答は”ない”が 35.3%, ”ある, 環境構築は難しかった, 面倒くさかった”が 29.4%, ”あるが, 環境構築は難しくて整えられなかった”と”ある, 環境構築は簡単だった, 面倒くさかった”, ”ある, 環境構築は難しかった, 面倒くさくなかった”が 11.8%, ”ある, 環境構築は難しかった, 面倒くさくなかった”が 0%と, 自主学習への障壁の一つとなっていると考える。「本システムの良かった点について」という問いに対する回答は”テスト”が 100%と非常に高く, 次に”整形”が 52.9%, ”実行”が 47.1%と続いた。「授業で本システムに変更された場合の影響について」という問いに対する回答は”操作が手軽なので学習効率が上がる”が 88.2%, ”動作が軽快なので学習効率が上がる”が 64.7%, 逆に効率が落ちるという回答は 0%だった。また自由記入においては”テストにより失敗したときに何ができて何ができないのかの場合分けされていたので間違いを分析しやすい”や”自宅と学校を同じ環境にするのは大変だが, これなら簡単に使用できるためわかりやすい”という意見があった。

5 まとめ

今回の研究では多くの学生が現在の授業方法に問題を感じていることと, 構築したシステムで大きく改善されることがわかった。実際の学習効果については授業などで本システムを使用し, その使用状況や使い勝手などを細かく調査する必要がある。そのためには授業で利用できるよう今回のアンケートで得られた不満点等を修正しなければならない。特にアンケートでも得られた「コンパイルエラーを日本語表記にすること」は多くの学生がコンパイルエラーをきちんと読むことにつながるだろう。そのためには本システムで採用しているコンパイラ Clang のエラー類がハードコーディングされているという問題を解決することが直近の課題である。

謝辞

卒業研究を実施するにあたり, ご協力頂いた方々に深く御礼申し上げます。

また本システムを実装するにあたり, 使用した各種ライブラリのメンテナーに御礼申し上げます。