

~~超入門~~ WebAssembly

～入門では収まらなかったバージョン～

2025.01.17 Fri. 東京Ruby会議12 前夜祭

近藤 うちお (@udzura)

SmartHR プロダクトエンジニア

初めにお断り ...

- 元々「超入門 WebAssembly」というタイトルで応募していましたが、入門レベルでは収まりませんでした。
- なので発表タイトルがただの「 WebAssembly」になります(?)

自己紹介

近藤 宇智郎 (@udzura)

株式会社 SmartHR (2024/11~)

プロダクトエンジニア 労務基本機能担当

Fukuoka.rb  やってます！

10年ほど池袋住んでたということで ...

マイブーム：WebAssembly、中学受験



テーマ: WebAssembly



WebAssembly とは

- ブラウザで動かせるバイナリ形式のこと
 - いろいろな言語 (C, C++, Rust, ...) をコンパイルして、バイナリを作り、それらをブラウザの上で実行できる
- WASMとも呼ぶ
 - 短くしたいときこの表記になるぐらいの使い分け(か?)
 - 仕様・概念を WebAssembly、実プログラムを WASM と呼ぶ傾向はありそう

WebAssembly とは

色々なところで

- ~~ブラウザで動かせる~~バイナリ形式のこと
 - ! ! !
 - つまり...??



e.g. WASMはターミナルでも動く

- ターミナルで WebAssemblyのプログラムを実行可能
 - 例えば [wasmtime](#) というコマンドで実行できる :

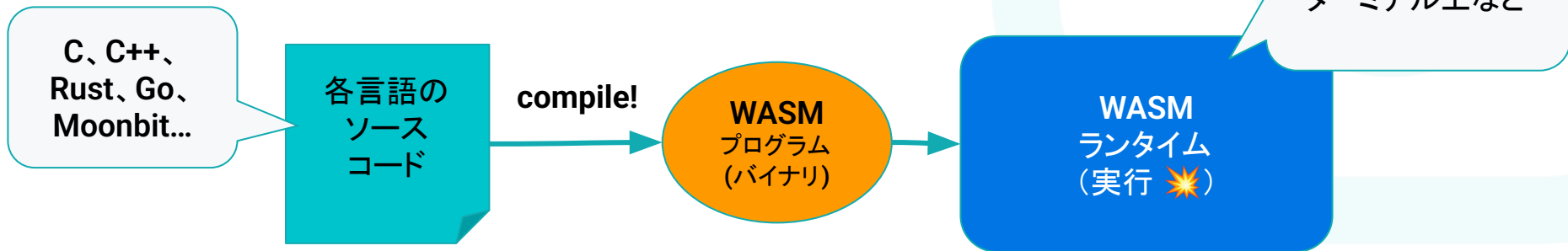
```
> wasmtime --invoke fib ./fib.wasm 20 2>/dev/null
6765
```

WebAssembly のメリット

- 言語を選ばずにバイナリを作れる
- そのバイナリは、ブラウザを中心に いろいろなところで動かせる
 - Write Once, Run Anywhere なのじゃよ ...
- 多くのランタイムで高速に動くことが期待できる

WebAssemblyの動かし方

- WASMランタイムには色々ある(Wasmtimeなどが有名)
- WASMプログラムも、何言語で書いても OK
 - 一般には C、C++、Rustをコンパイルする

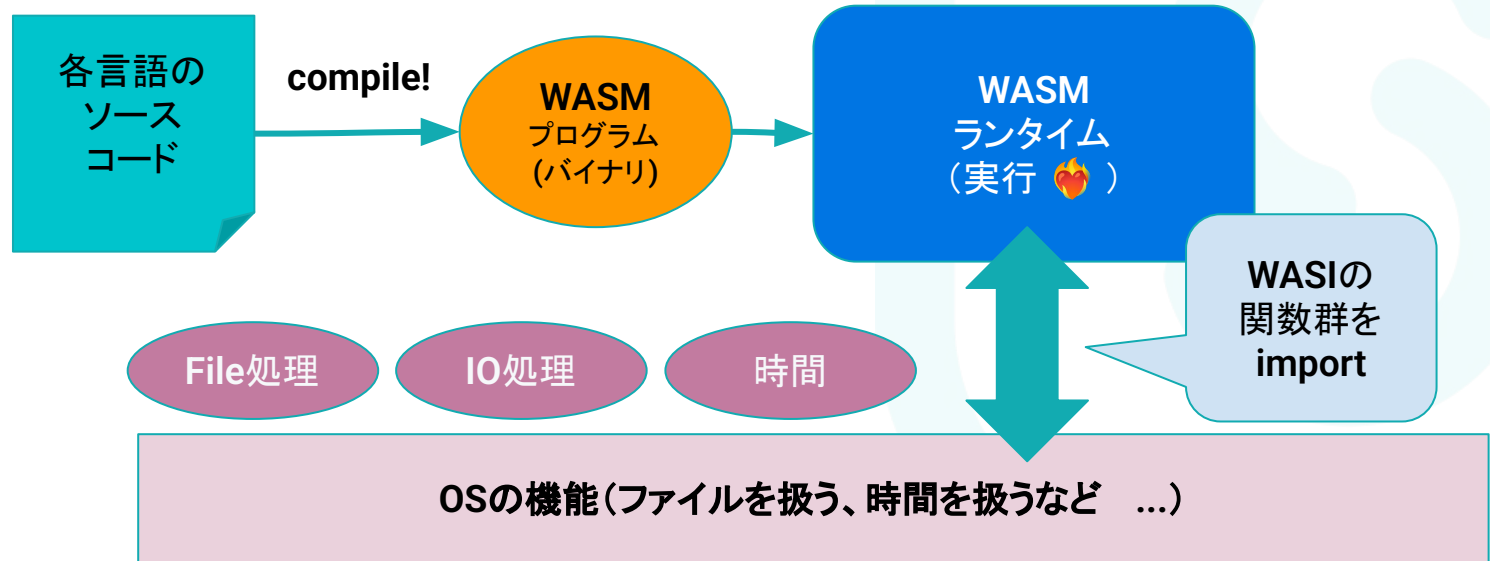


WebAssemblyの大事な概念

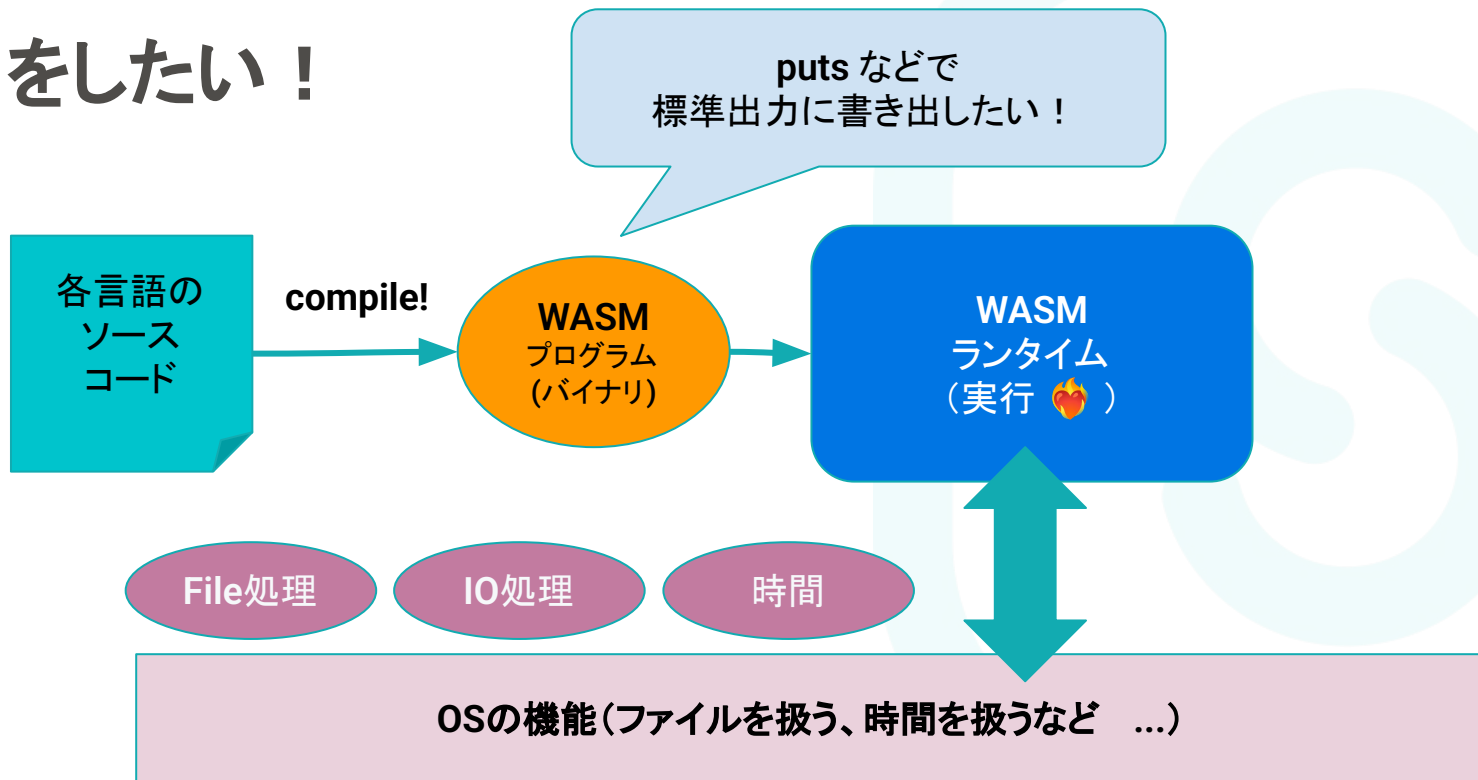
WebAssembly System Interface について

- WASMとOSの機能(ファイルを扱う、時間を扱う ...)を繋ぐ仕様が WASI (WebAssembly System Interface)
- WASM自体はOSの機能を仕様に含んでいない
 - OSの機能を扱えるようにした拡張仕様のようなもの

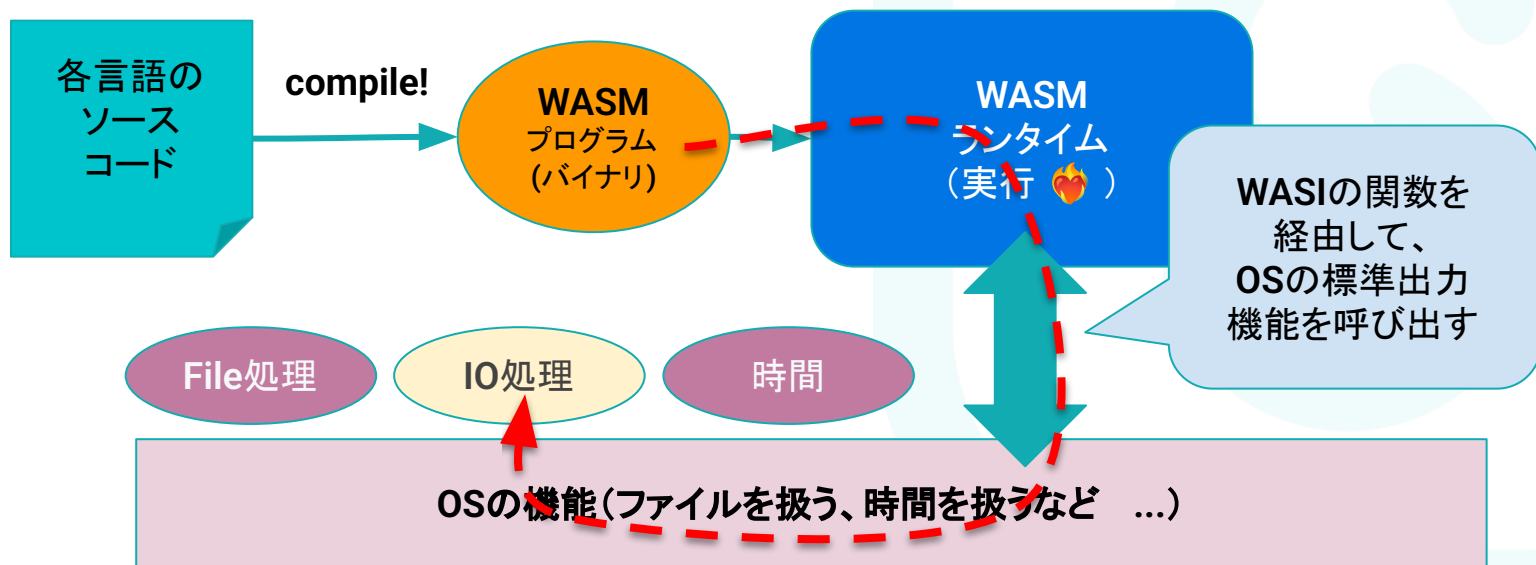
WASI のざっくりした概念図



出力をしたい！



WASI を通して OS の機能を使う



WASI の補足...

- preview1とか2とか聞いたことがあるかも知んですが ...
 - preview 2はComponent ModelというWASMの次世代仕様に沿ったシステムインタフェース
 - 今広く使われているのは preview 1、という点を覚えておけば一旦 OKです！

WASI の話は後半で登場します！



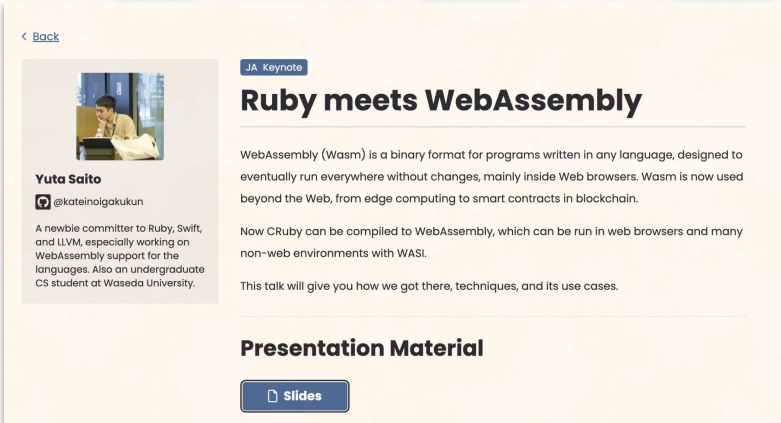
WebAssembly と Ruby



Ruby で WebAssembly といえば

- ruby.wasm ですよね
- 公式な

“RubyをWASMで動かす方法”



< Back

JA. Keynote

Ruby meets WebAssembly

WebAssembly (Wasm) is a binary format for programs written in any language, designed to eventually run everywhere without changes, mainly inside Web browsers. Wasm is now used beyond the Web, from edge computing to smart contracts in blockchain.

Now CRuby can be compiled to WebAssembly, which can be run in web browsers and many non-web environments with WASI.

This talk will give you how we got there, techniques, and its use cases.

Presentation Material

Slides

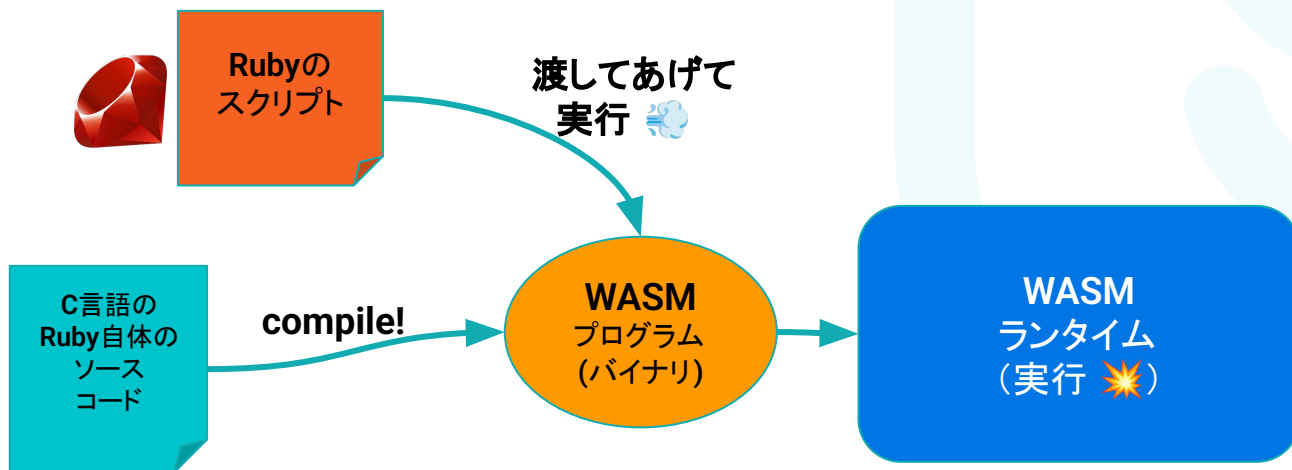
Yuta Saito
@kateinoigakukun

A newbie committer to Ruby, Swift, and LLVM, especially working on WebAssembly support for the languages. Also an undergraduate CS student at Waseda University.

<https://ruby.github.io/ruby.wasm/>

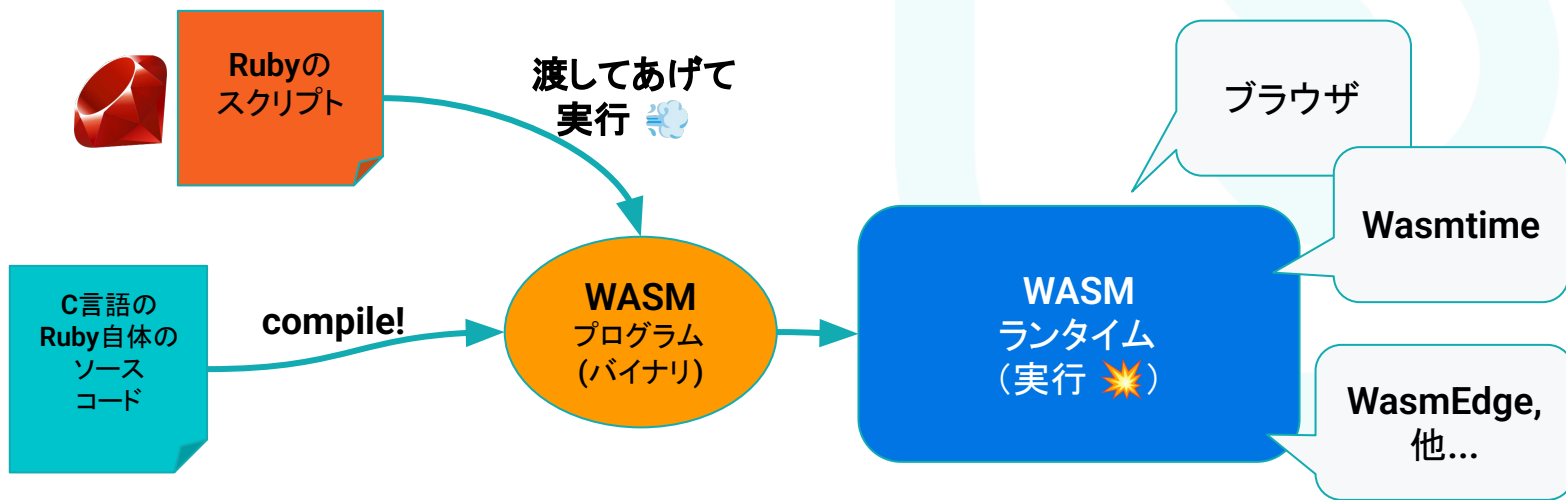
ruby.wasm の世界観

- 基本的には、RubyのCコードを丸ごと WASMバイナリにし、スクリプトを動かしている



ruby.wasm は実はどこでも動く

- ランタイムとして、ブラウザでも、Wasmtimeのような cli tool でも、様々な選択肢がある



WebAssembly と Ruby と私

WebAssembly x Ruby 関係で...

- OSSをいくつか作ってます！

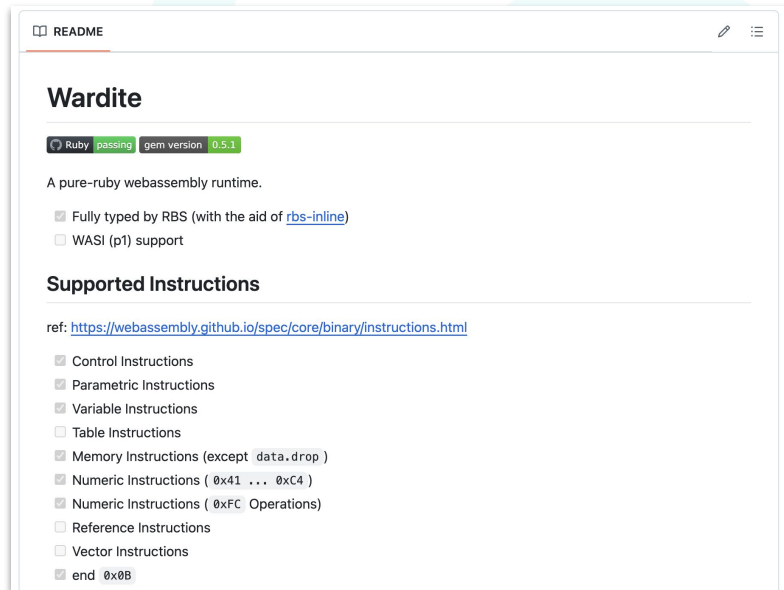


私が
作りました

- 最近の生活そのものなので軽く紹介します

Wardite

- @udzura の有休消化中に開発
- Rubyで書いた
WebAssemblyランタイム



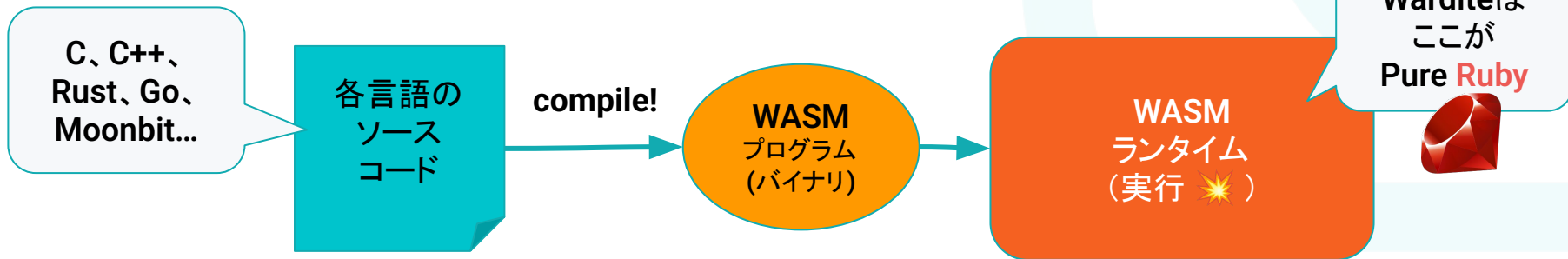
<https://github.com/udzura/wardite>

Wardite is ... ?

- Rubyで書いたWebAssemblyランタイムとは、つまり
 - WebAssemblyのバイナリプログラムを動かすための環境やライブラリのこと
 - これがあればWASMを動かせます！一式セット
 - という理解でOK

Wardite の立ち位置

- Wardite is ランタイムの方をRubyで書いたという話
- 色々な言語で書いた WASMプログラムを実行できる



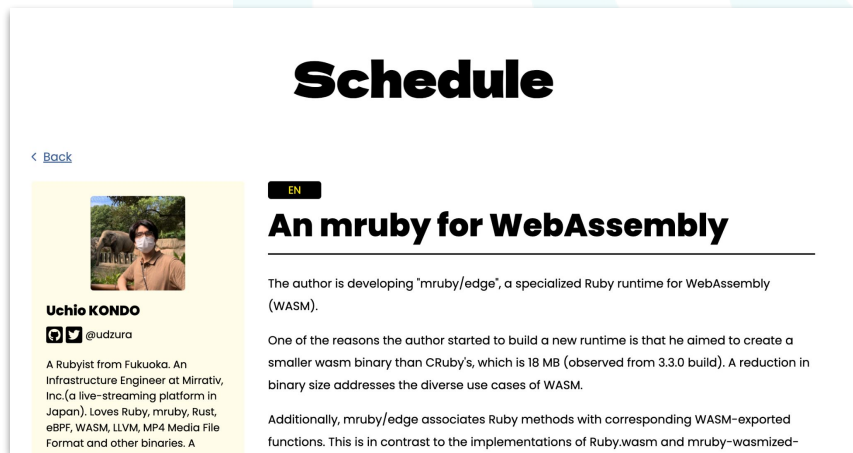
おまけ: もう一つOSSを紹介



mruby/edge

※ 正確には... mec (mruby/edge compiler)というツールも別にあってそれでバイナリを作っています

- Rubyのスク립トを WASMバイナリに固める OSS Project
- RubyKaigi 2024 で話した
- その時から肅々と機能追加している

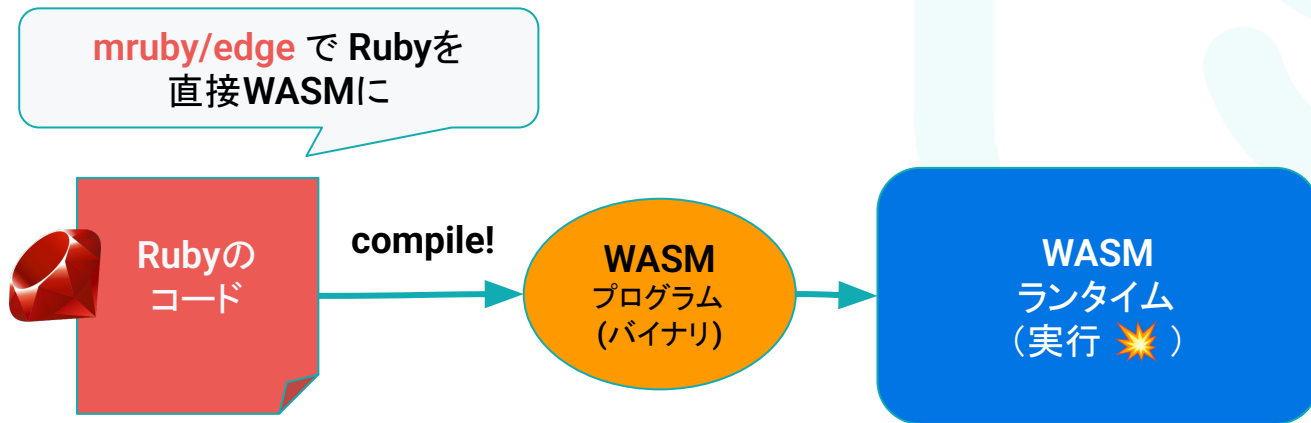


The screenshot shows a GitHub blog post. At the top right is the word "Schedule" in large bold black font. Below it is a small "EN" button. The main title is "An mruby for WebAssembly" in bold black font. To the left of the main text is a profile picture of Uchio KONDO, a man in a brown jacket and glasses, with his name "Uchio KONDO" and handle "@udzura" below it. A bio follows: "A Rubyist from Fukuoka. An Infrastructure Engineer at Mirrativ, Inc. (a live-streaming platform in Japan). Loves Ruby, mruby, Rust, eBPF, WASM, LLVM, MP4 Media File Format and other binaries. A". The main text starts with "The author is developing 'mruby/edge', a specialized Ruby runtime for WebAssembly (WASM)." and continues with "One of the reasons the author started to build a new runtime is that he aimed to create a smaller wasm binary than CRuby's, which is 18 MB (observed from 3.3.0 build). A reduction in binary size addresses the diverse use cases of WASM." and "Additionally, mruby/edge associates Ruby methods with corresponding WASM-exported functions. This is in contrast to the implementations of Ruby.wasm and mruby-wasmized-".

<https://github.com/udzura/mrubyedge>

mruby/edge is ... WASMバイナリをRubyで！

- Rubyスクリプト → WASMバイナリにコンパイル できるように作ったのが mruby/edge



Wardite について詳しく

名前の由来

- **WA** で始まる鉱石の名前を採用
- ワード石:
 $\text{NaAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$



<https://en.wikipedia.org/wiki/Wardite#/media/File:Wardite.jpg>

Wardite の特徴

- Pure Ruby 製
 - 標準添付ライブラリ以外に動作上の依存なし
- Fully RBS annotated (Thanks to rbs-inline)

Wardite が達成していること

- WASM Core の基本的な命令を大体実装
- WASM Core = WASMの基本的な標準仕様
- WASI preview 1 も対応(予定)

Supported Instructions

ref: <https://webassembly.github.io/spec/core/binary/instructions.html>

- Control Instructions
- Parametric Instructions
- Variable Instructions
- Table Instructions
- Memory Instructions (except `data.drop`)
- Numeric Instructions (`0x41` ... `0xC4`)
- Numeric Instructions (`0xFC` Operations)
- Reference Instructions
- Vector Instructions
- end `0x0B`

参考: 先行実装

- technohippy/wasmrb
 - <https://github.com/technohippy/wasmrb>
 - Referecialな実装。綺麗なコードだけど、4年前最終更新
 - 1. WASIに未対応
 - 2. WASMの仕様自体も、未対応の箇所がそこそこある
 - ということで Warditeを推したいナ ...

なぜRubyでWebAssemblyランタイムを？

- C or Rustで書かれたランタイムを使うこともできる
 - Wasmtime, WasmEdge, Wasmer, ...などがある
 - 拡張gemがある [bytecodealliance/wasmtime-rb](https://github.com/bytecodealliance/wasmtime-rb) など
- 速度面もCなどが有利ではありそう

ですが...

- bundle installしてこのメッセージが出た時の気持ち、覚えてますか

```
Building native extensions. This could take a while...
```

- C拡張はちょっとインストールが手間な時がある

Pure Rubyであることのメリット

- インストール・セットアップが簡単
 - Rubyが動けば動く！
 - プラットフォームに依存しにくい
(CPUの種類、OSの種類やバージョン ...)
 - 可搬性のために依存ライブラリをなくしている

参考: Goの事例

- GoのC拡張組み込みの仕組み(cgo)も結構面倒 ...
- Pure Go の WebAssembly ランタイム [wazero](#) がある
 - Goはコンパイル言語だけど、WebAssembly + wazeroで動的なプラグイン機構を実現したりしている
 - <https://github.com/knqyf263/go-plugin>

と、いろいろ言いましたが ...

面白そうなので作りました

Just For Fun...

- 開発のきっかけは「勉強目的」「なんか面白そう」
- 作ってみたら、思ったよりちゃんと動くので
 - 色々使ってみたい！
 - 実装を引き続き頑張るぞ

Wardite の動かし方



WASMのプログラムを作ってみよう

- 今日の例: Cでフィボナッチ数を求める関数です :
- WASM のプログラム自体を Cで書くのは一般的

```
1  int fib(int n) {  
2      if (n <= 1) return n;  
3      return fib(n - 1) + fib(n - 2);  
4  }
```

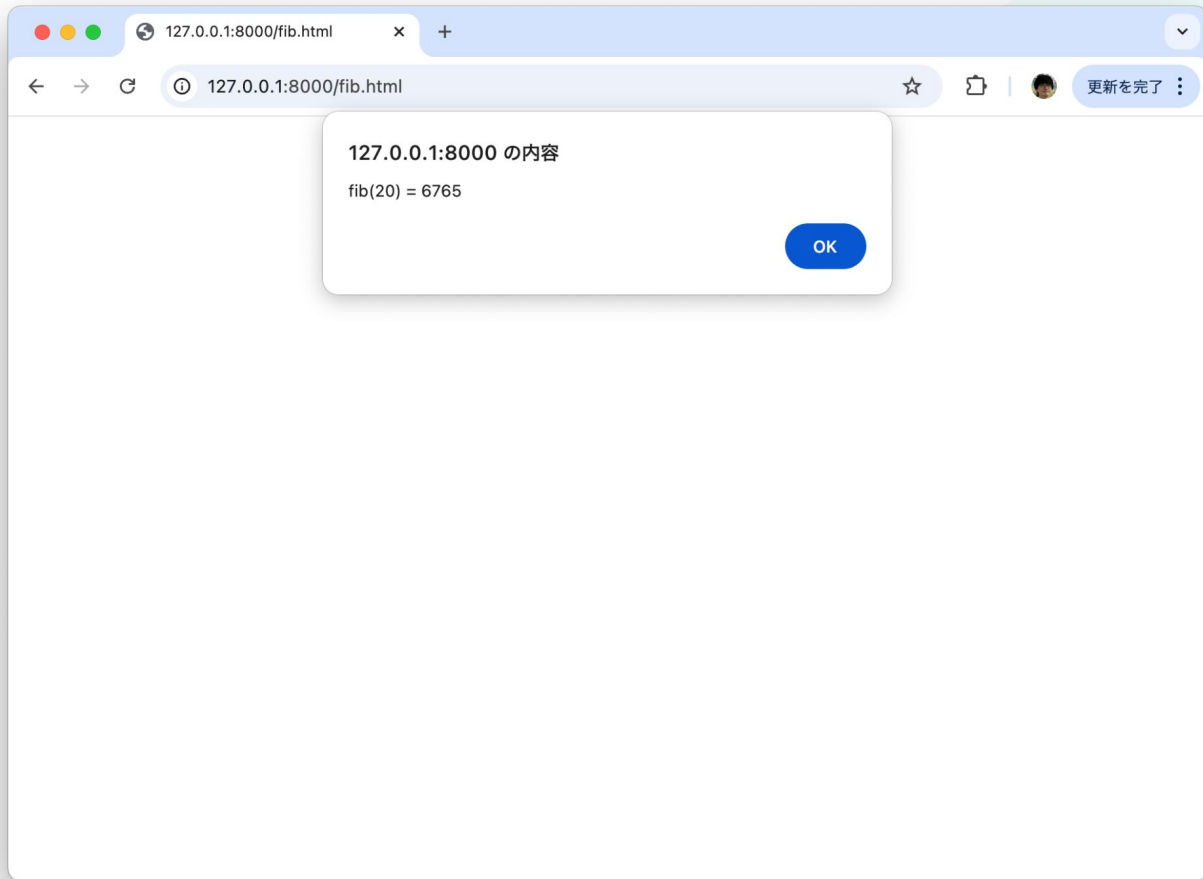
これをWebAssemblyにコンパイル

- 例えば、clangというCコンパイラで作れる
- `fib.wasm` というWASMバイナリを作成

```
> clang --target=wasm32 \  
    --no-standard-libraries \  
    -Wl,--export-all -Wl,--no-entry \  
    -o fib.wasm \  
    fib.c
```

ブラウザで使うには：

```
1 // WebAssemblyをfetchしてインスタンス化する
2 WebAssembly.instantiateStreaming(
3   fetch('./fib.wasm')
4 ).then(obj => {
5   // obj.instance にインスタンスがあり、
6   // さっきの fib がexportされている
7   const value = obj.instance.exports.fib(20)
8   alert(`fib(20) = ${value}`);
9 });
```



Warditeコマンドを使うには？

- gemにしているなので、すぐインストールできる！

```
> gem install wardite
Successfully installed wardite-0.6.1
Parsing documentation for wardite-0.6.1
Done installing documentation for wardite after 0 seconds
1 gem installed
```

Warditeコマンドの結果

- wardite gem と一緒にコマンドがインストールされます

さっき作った
fib.wasm

```
> file ./fib.wasm
./fib.wasm: WebAssembly (wasm) binary module version 0x1 (MVP)
> wardite ./fib.wasm fib 20
warning: unimplemented section: 0x00
return value: I32(6765)
```

同じ
fib(20) = 6765

Wardite を支える技術



ここから

- 内部実装の話です！！！！
- やや難しい用語を説明なしに使ってるかもです、すいません....。

最初の実装

- ゴリラさんの「[RustでWasm Runtimeを実装する](#)」を参考に実装を開始した
- RBSの練習のため rbs-inlineを全面的に有効にして書いた

どんな順番？

- 最初はとにかくデータ構造を把握
 - ref: [Wasmバイナリの全体像](#)
- バイナリパーサを書く
- 命令とVMを書く
- 命令を頑張って実装する(190個ぐらい)

```
0x0 | 00 61 73 6d | version 1 (Module)
    | 01 00 00 00
0x8 | 01 06       | type section
0xa | 01         | 1 count
--- rec group 0 (implicit) ---
0xb | 60 01 7f 01 | [type 0] SubType { is_final:
    | 7f         | ed: false }
0x10 | 03 02      | func section
0x12 | 01         | 1 count
0x13 | 00         | [func 0] type 0
0x14 | 07 07     | export section
0x16 | 01         | 1 count
0x17 | 03 66 69 62 | export Export { name: "fib",
    | 00 00
0x1d | 0a 1f     | code section
0x1f | 01         | 1 count
===== func 0 =====
0x20 | 1d       | size of function
0x21 | 00       | 0 local blocks
0x22 | 20 00   | local_get local_index:0
0x24 | 41 03   | i32_const value:3
0x26 | 48      | i32_lt_s
0x27 | 04 40   | if blockty:Empty
0x29 | 41 01   | i32_const value:1
0x2b | 0f      | return
0x2c | 0b      | end
```

※ 画像はイメージです

わからない単語がいっぱい ...

- 読み進めていて例えば こういう表現 が

```
let (input, code) = le_u8(input);  
let (input, size) = leb128_u32(input);
```

section code は1バイト固定なので le_u8() を使っている。

section size はLEB128^[1]でエンコードされた u32 なので、値を読み取る際は leb128_u32() を使う必要がある。

- > ~section sizeはLEB128[1]でエンコードされた u32～
- LEB128とは...??

※ WASMバイナリはいくつかのセクションに分かれている。
そのパースをする処理の説明での文言
※ 本文にも解説はしっかり存在します

LEB128 (Little Endian Base 128) とは何か

- 数値のエンコーディングの方式の一つ。可変長方式
 - WASMバイナリの随所で登場する大事な実装

```
# - 0 ~ 6bit目: 数値表現
# - 7bit目: 次のバイトも使う
# - i番目の表現は << (7*i) して足す
[0b10101010, 0b01101101]
# この場合、
(0b10101010 & 0b01111111) | (0b01101101) << 7
=> 13994
```

Rubyで実装した例

```
def to_i_by_uleb128(bytes)
  dest = 0
  bytes.each_with_index do |b, level|
    upper, lower = (b >> 7), (b & (1 << 7) - 1)
    dest |= lower << (7 * level)
    if upper == 0
      return dest
    end
  end
  raise "unreachable"
end

to_i_by_uleb128 "\xAA\x6D".unpack("C*")
# => 13994
```

バイナリパーサ自体の実装

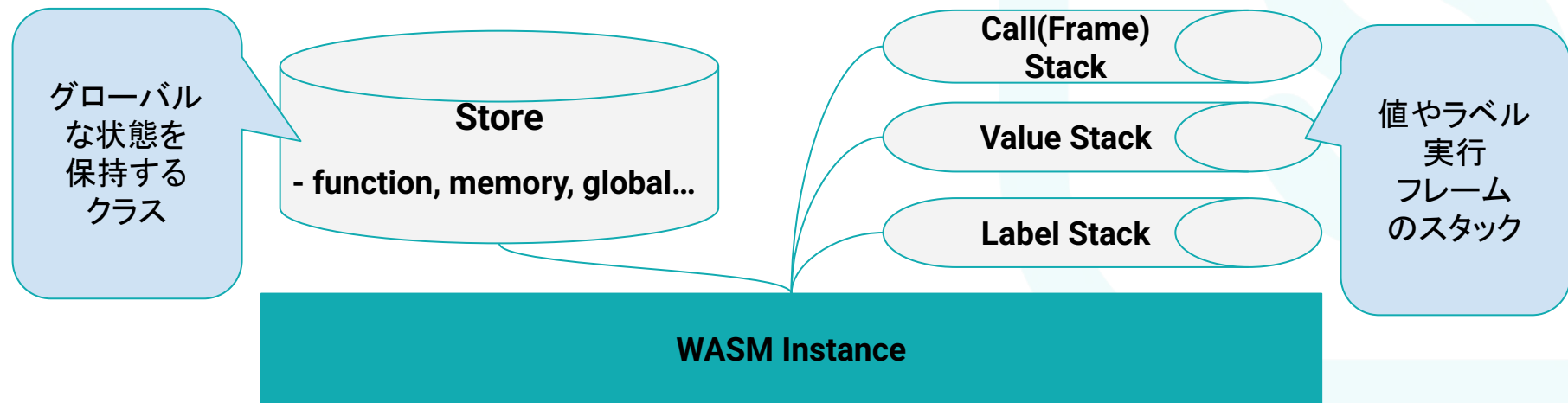
- 素朴に1 byte 1 byte取る感じにした。こういうコード

```
# @rbs return: Integer
def self.preamble
  asm = @buf.read 4
  raise LoadError, "buffer too short" if !asm
  raise LoadError, "invalid preamble" asm != "\u0000asm"
  vstr = @buf.read(4)
  version = vstr.to_enum(:chars)
  .with_index
  .inject(0) {|dest, (c, i)| dest | (c.ord << i*8) }
  raise LoadError, "unsupported ver: #{version}" if version != 1

  version
end # ...
```

VM周りの実装

- [Runtime Structure](#) を参照。以下のようなクラスを作った



VMの命令実行部分

- 基本的に一つ取得して
実行、ループするだけ
- 命令は case 文で
分岐する

```
# @rbs return: void
def execute!
  loop do
    cur_frame = self.call_stack.last #: Frame
    if !cur_frame
      break
    end
    cur_frame.pc += 1
    insn = cur_frame.body[cur_frame.pc]
    if !insn
      break
    end
    eval_insn(cur_frame, insn)
  end
end
```

共通の処理が多い(i32⇔i64、f32⇔f64)

- 数値の型が
違うだけの命令
- Generatorで
まとめて
作るようにした

```
when :i32_add
  right, left = runtime.stack.pop, runtime.stack.pop
  if !right.is_a?(I32) || !left.is_a?(I32)
    raise EvalError, "maybe empty or invalid stack"
  end
  runtime.stack.push(I32(left.value + right.value))

# ...

when :i64_add
  right, left = runtime.stack.pop, runtime.stack.pop
  if !right.is_a?(I64) || !left.is_a?(I64)
    raise EvalError, "maybe empty or invalid stack"
  end
  runtime.stack.push(I64(left.value + right.value))
```

命令を楽しく実装していた頃



Uchio Kondo ✨
@udzura

プロモーションする ...

#Wardite あと1.0標準命令で実装してないの6つだけだ
table: pengowray.github.io/wasm-ops/
なおテストも書いたとは言っていない

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0.	unreachable	no_op	block	loop	if	else	try	catch	throw	throw_ref	throw_ref	br	br_if	br_table	return	
1.	call	call_indirect	return_call	return_call_indirect	call_ref	return_call_ref			delegate	catch_all	gcp	select	select1		try_table	
2.	local_get	local_set	local_tee	global_get	global_set	table_get	table_set		i32_load	i64_load	i32_store	i64_store	i32_load8_s	i64_load8_s	i32_load16_s	i64_load16_s
3.	i32_load	i64_load	i32_store	i64_store	i32_load8_u	i64_load8_u	store	store	store8	store16	store8	store16	store8	store16	store32	store64
4.	memory_init	const	const	const	const	eqz	eq	ne	lt	lt_s	gt	gt_s	le	le_s	ge	ge_s
5.	i64_eqz	i64_eq	i64_ne	i64_lt	i64_lt_s	i64_gt	i64_gt_s	i64_le	i64_le_s	i64_ge	i64_ge_s	i64_eq				
6.	i32_eq	i64_eq	i64_ne	i64_lt	i64_lt_s	i64_gt	i64_gt_s	i64_le	i64_le_s	i64_ge	i64_ge_s	i64_eq				
7.	i32_rem	i32_and	i32_or	i32_xor	i32_shl	i32_shr	i32_rol	i32_ror	i32_rotl	i64_popcount	i64_add	i64_sub	i64_mul	i64_div	i64_rem	i64_shl
8.	i64_div	i64_rem	i64_and	i64_or	i64_xor	i64_shl	i64_shr	i64_rol	i64_ror	i64_rotl	i64_rotl	i64_rotl	i64_neg	i64_cell	i64_floor	i64_trunc
9.	i32_nearest	i32_sqrt	i32_add	i32_sub	i32_mul	i32_div	i32_min	i32_max	i32_copysign	i64_abs	i64_neg	i64_cell	i64_floor	i64_trunc	i64_nearest	i64_sqrt
A.	i64_add	i64_sub	i64_mul	i64_div	i64_min	i64_max	i64_copysign	i64_wrap_i64	i64_min	i64_max	i64_copysign	i64_trunc_i64_u	i64_trunc_i64_s	i64_extend_i64_u	i64_extend_i64_s	i64_trunc_f64_u
B.	i64_trunc_f64_s	i64_convert_f32_u	i32_convert_f32_s	i32_convert_f32_s	i32_convert_f32_s	i32_convert_f32_s	i32_convert_f32_s	i32_convert_f32_s	i32_convert_f32_s	i32_convert_f32_s	i32_convert_f32_s	i32_convert_f32_s	i32_convert_f32_s	i32_convert_f32_s	i32_convert_f32_s	i32_convert_f32_s
C.	extend8	extend16	extend32	extend64	extend8_s	extend16_s	extend32_s	extend64_s	extend8_u	extend16_u	extend32_u	extend64_u	extend8_s	extend16_s	extend32_s	extend64_s

午後8:35 · 2024年11月9日 · 627 件の表示

命令を楽しく実装していた頃

- なんか入社直後に
趣味コードめっちゃ
書いているな...



Uchio Kondo

@udzura

プロモーションする



#Wardite あと1.0標準命令で実装してないの6つだけだ
table: pengowray.github.io/wasm-ops/
なおテストも書いたとは言っていない

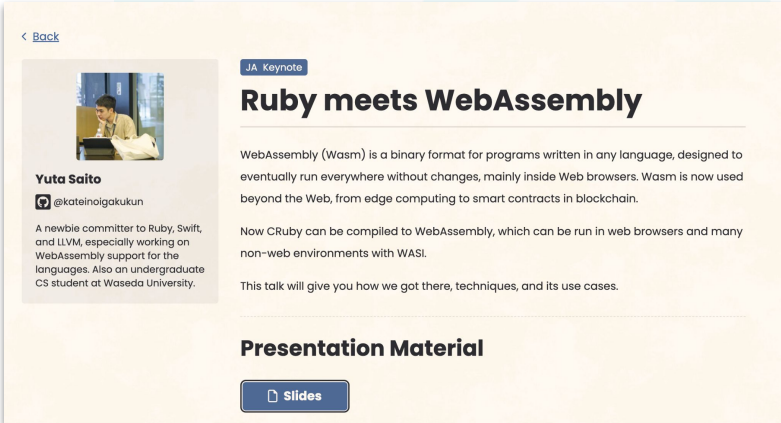
	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9	.A	.B	.C	.D	.E	.F
0. unreach	no	block	loop	break	try	catch	throw	return	throw_ref	unreachable	br	br_if	br_table	return		
1. call	call_indirect	return_call	return_call_indirect	call_ref	return_call_ref		delegate	catch_all	g_p	select	select1					try_table
2. local_get	local_set	local_tee	global_get	global_set	table_get	table_set	i32_load	i64_load	i32_store	i64_store	i32_load8_s	i32_load16_s	i32_load32_s	i64_load8_s	i64_load16_s	i64_load32_s
3. i64_load8_u	i64_load16_u	i64_load32_u	i32_store8	i32_store16	i32_store32	store	store8	store16	store32	store64	store8_u	store16_u	store32_u	store64_u		
4. memarg	const	const	const	const	const	const	const	const	const	const	const	const	const	const	const	const
5. i64_eqz	i64_eq	i64_ne	i64_lt	i64_le	i64_gt	i64_ge	i64_eqz	i64_eq	i64_ne	i64_lt	i64_le	i64_gt	i64_ge	i64_eqz	i64_eq	i64_ne
6. i32_eqz	i32_eq	i32_ne	i32_lt	i32_le	i32_gt	i32_ge	i32_eqz	i32_eq	i32_ne	i32_lt	i32_le	i32_gt	i32_ge	i32_eqz	i32_eq	i32_ne
7. i32x4_shl	i32x4_shr_s	i32x4_shr_u	i32x4_shl	i32x4_shr_s	i32x4_shr_u	i32x4_shl	i32x4_shr_s	i32x4_shr_u	i32x4_shl	i32x4_shr_s	i32x4_shr_u	i32x4_shl	i32x4_shr_s	i32x4_shr_u	i32x4_shl	i32x4_shr_s
8. i64_div	i64_rem	i64_and	i64_or	i64_xor	i64_shl	i64_shr_s	i64_shr_u	i64_rotl	i64_rotl	i64_rotl	i64_rotl	i64_rotl	i64_rotl	i64_rotl	i64_rotl	i64_rotl
9. i32x4_nearest	i32x4_sqrt	i32x4_add	i32x4_sub	i32x4_mul	i32x4_div	i32x4_min	i32x4_max	i32x4_copysign	i32x4_abs	i32x4_neg	i32x4_cell	i32x4_floor	i32x4_trunc	i32x4_nearest	i32x4_sqrt	i32x4_sqrt
A. i64_add	i64_sub	i64_mul	i64_div	i64_min	i64_max	i64_copysign	i64_wrap_i64	i64_wrap_i64	i64_trunc_i64_u	i64_trunc_i64_s	i64_extend_i64_u	i64_extend_i64_s	i64_trunc_i64_u	i64_trunc_i64_s	i64_nearest_i64_u	i64_nearest_i64_s
B. i64_trunc_i64_s	i64_convert_i32_s	i64_convert_i32_u	i64_convert_i32_s	i64_convert_i32_u	i64_convert_i32_s	i64_convert_i32_u	i64_convert_i32_s	i64_convert_i32_u	i64_convert_i32_s	i64_convert_i32_u	i64_convert_i32_s	i64_convert_i32_u	i64_convert_i32_s	i64_convert_i32_u	i64_convert_i32_s	i64_convert_i32_u
C. i64x8_extend8	i64x8_extend16	i64x8_extend32	i64x8_extend16	i64x8_extend32	i64x8_extend16	i64x8_extend32	i64x8_extend16	i64x8_extend32	i64x8_extend16	i64x8_extend32	i64x8_extend16	i64x8_extend32	i64x8_extend16	i64x8_extend32	i64x8_extend16	i64x8_extend32

午後8:35 · 2024年11月9日 · 627 件の表示

Wardite で ruby.wasm は
動く？

再掲: Ruby で WebAssembly といえば

- ruby.wasm ですよ
- ですよ～



< Back

JA. Keynote

Ruby meets WebAssembly

WebAssembly (Wasm) is a binary format for programs written in any language, designed to eventually run everywhere without changes, mainly inside Web browsers. Wasm is now used beyond the Web, from edge computing to smart contracts in blockchain.

Now CRuby can be compiled to WebAssembly, which can be run in web browsers and many non-web environments with WASI.

This talk will give you how we got there, techniques, and its use cases.

Presentation Material

Slides

Yuta Saito
@kateinoigakukun

A newbie committer to Ruby, Swift, and LLVM, especially working on WebAssembly support for the languages. Also an undergraduate CS student at Waseda University.

<https://ruby.github.io/ruby.wasm/>

ruby.wasm をRubyで動かしたい ...

- ruby.wasm を動かせるようにするのがマイルストーン
 - 現実世界の WASMプログラムを動かしたい
 - ~~RubyでRubyが動いたぞ！って言いたいだけ~~
- そのためには WASI preview 1への対応が必要
 - Wardite の中で使う WASI関数もRubyで書く必要

WASIの関数の例

- 例: `random_get()`
- OSが用意した乱数を取り出すための関数
 - C言語(Linux)の `getrandom(2)`
- プログラムで普通に乱数を使いたいとき使う
(自力でアルゴリズムを実装しないなら)

WASIの関数を実装するには

- 普通のRubyの
コードで乱数
を扱う

```
class WasiSnapshotPreview1
  # @rbs store: Store
  # @rbs args: Array[wasmValue]
  # @rbs return: Object
  def random_get(store, args)
    buf, buflen = args[0].value, args[1].value
    randoms = SecureRandom.random_bytes(buflen) #: String
    store.memories[0].data[buf...(buf+buflen)] = randoms
    0
  end
end
```

- こういう感じの関数を 90個ぐらい用意すれば完了 ...

で、`ruby.wasm`は動いたの？

- デモをします！
- Live `ruby.wasm` bootstrap challenge!!!!



Demo.....



まとめと今後



Pure RubyでWASMランタイム作った

- 勉強目的だったが色々頑張ったので割と作り込まれてる
- `ruby.wasm` も動.....!!!???
- 興味ある方、Contribution 歓迎です！

今後やりたいことなど

- テスト不足を対応
 - WASM Core specをちゃんと満たした！と言いたい
 - 満たすか？ のテストは自動実行できるので対応
 - → [WebAssembly specification, reference interpreter, and test suite](#)
- あとはパフォーマンス向上とか