

プログラミング言語 C--
Ver. 3.2.1

徳山工業高等専門学校
情報電子工学科

Copyright © 2016 - 2019 by
Dept. of Computer Science and Electronic Engineering,
Tokuyama College of Technology, JAPAN

本ドキュメントは*全くの無保証*で提供されるものである。上記著作権者および関連機関・個人は本ドキュメントに関して、その適用可能性も含めて、いかなる保証も行わない。また、本ドキュメントの利用により直接的または間接的に生じたいかなる損害に関しても、その責任を負わない。

目次

第 1 章	はじめに	1
第 2 章	C++言語開発環境のインストール	3
2.1	ユーティリティのインストール	3
2.2	コンパイラのインストール	3
2.2.1	コンパイラ本体のインストール	3
2.2.2	ヘッダファイルのインストール	4
2.2.3	ライブラリのインストール	5
2.3	サンプルプログラムのコンパイル	6
2.3.1	コンパイルして PC で実行	6
2.3.2	コンパイルして TaC で実行	6
2.3.3	いろいろな中間ファイル	7
2.3.4	Makefile ファイル	9
第 3 章	C++言語の仕様	11
3.1	コメント	11
3.2	プリプロセッサ	11
3.3	データ型	12
3.3.1	基本型	12
3.3.2	参照型	14
3.4	関数	19
3.5	interrupt 関数	20
3.6	変数	21
3.7	変数の初期化	21
3.8	public 修飾子	22
3.9	演算子	23
3.9.1	代入演算	23
3.9.2	数値演算	23
3.9.3	比較演算	24
3.9.4	論理演算	24
3.9.5	ビット毎の論理演算	24
3.9.6	シフト演算	25

3.9.7	参照演算	25
3.9.8	sizeof 演算	26
3.9.9	addrof 演算	27
3.9.10	ord 演算	27
3.9.11	chr 演算	27
3.9.12	bool 演算	27
3.9.13	カンマ演算	28
3.9.14	演算子のまとめ	28
3.10	文	28
3.10.1	空文	29
3.10.2	式文	29
3.10.3	ブロック	29
3.10.4	if 文	30
3.10.5	while 文	30
3.10.6	do-while 文	30
3.10.7	for 文	30
3.10.8	return 文	31
3.10.9	break 文	32
3.10.10	continue 文	32
第 4 章	ライブラリ関数	33
4.1	標準入出力ライブラリ	33
4.1.1	printf 関数	33
4.1.2	puts 関数	34
4.1.3	putchar 関数	34
4.1.4	getchar 関数	34
4.1.5	fopen 関数	34
4.1.6	fclose 関数	35
4.1.7	fseek 関数	35
4.1.8	fsize 関数	35
4.1.9	fprintf 関数	35
4.1.10	fputs 関数	36
4.1.11	fputc 関数	36
4.1.12	fgets 関数	36
4.1.13	fgetc 関数	36
4.1.14	feof 関数	37
4.1.15	ferror 関数	37
4.1.16	fflush 関数	37
4.1.17	readDir 関数	37

4.1.18	perror 関数	38
4.1.19	プログラム例	40
4.2	標準ライブラリ	41
4.2.1	malloc 関数	41
4.2.2	calloc 関数	42
4.2.3	free 関数	42
4.2.4	atoi 関数	42
4.2.5	htoi 関数	42
4.2.6	srand 関数	43
4.2.7	rand 関数	43
4.2.8	exit 関数	43
4.3	文字列操作関数	43
4.3.1	strCpy 関数	43
4.3.2	strNcpy 関数	44
4.3.3	strCat 関数	44
4.3.4	strNcat 関数	44
4.3.5	strCmp 関数	44
4.3.6	strNcmp 関数	44
4.3.7	strLen 関数	45
4.3.8	strChr 関数	45
4.3.9	strRchr 関数	45
4.3.10	strStr 関数	45
4.4	文字クラス分類関数	45
4.4.1	isAlpha 関数	45
4.4.2	isDigit 関数	46
4.4.3	isAlnum 関数	46
4.4.4	isPrint 関数	46
4.4.5	isLower 関数	46
4.4.6	isUpper 関数	46
4.4.7	isXdigit 関数	46
4.4.8	isspace 関数	47
4.4.9	toLowerCase 関数	47
4.4.10	toUpperCase 関数	47
4.5	特殊な関数	47
4.5.1	_iToA 関数	47
4.5.2	_aToI 関数	48
4.5.3	_aToA 関数	48
4.5.4	_addrAdd 関数	48
4.5.5	_aCmp 関数	48

4.5.6	_uCmp 関数	48
4.5.7	_args 関数	49
4.5.8	_add32 関数	49
4.5.9	_sub32 関数	50
4.5.10	_div32 関数	50
4.5.11	_mod32 関数	50
4.5.12	_in 関数	50
4.5.13	_out 関数	50
第 5 章	システムコール	51
5.1	プロセス関連	51
5.1.1	exec	51
5.1.2	_exit	52
5.1.3	wait	52
5.1.4	sleep	52
5.2	ファイル操作	52
5.2.1	creat	52
5.2.2	remove	53
5.2.3	mkDir	53
5.2.4	rmDir	53
5.3	ファイルの読み書き	53
5.3.1	open	53
5.3.2	close	54
5.3.3	read	54
5.3.4	write	54
5.3.5	seek	54
5.4	コンソール関連	55
5.4.1	ttyRead	55
5.4.2	ttyWrite	55
5.4.3	ttyCtl	55
付 録 A	C--言語文法まとめ	57
付 録 B	コマンドリファレンス	59
B.1	cm2e コマンド	59
B.2	cm2c コマンド	60
B.3	cm2i コマンド	61
B.4	cm2v コマンド	61
B.5	c-- コマンド	62
B.6	c-c-- コマンド	63

B.7	rtc-c--コマンド	63
B.8	ic-c--コマンド	63
B.9	vm-c--コマンド	64
付 録 C 中間言語		65
C.1	仮想スタックマシン	65
C.2	書式	65
C.3	命令	65
C.3.1	ラベル生成命令	66
C.3.2	マシン命令	66
C.3.3	マクロ命令	77
C.3.4	擬似命令	78

第1章 はじめに

C--言語は C 言語に似た小さなシステム記述用言語です。徳山高専教育用 PC(TaC) のシステム記述用言語として開発されました。C--言語は次に挙げる項目を満たすことを目標に設計されています。本書は C 言語や Java 言語を学習したことがある人を対象に、C--言語を紹介するものです。

「学習が容易な言語であること」 C--言語は C 言語をお手本にしていますが、C 言語の難しい部分を取り去り簡単に理解できるようになっています。まず、無くても我慢できそうな文法は、思い切り良く省略しています。例えば、C 言語では多次元配列の形式にいくつかのレパートリーがありました。しかし、Java 言語にはレパートリーはありません。C--言語は Java 言語に倣い多次元配列のレパートリーを認めません。

また、C 言語の混乱を招きそうな文法仕様を取り入れないように注意しています。例えば、C 言語の配列は関数に渡されるとポインタとして扱われます。つまり、関数に渡すと型が変化してしまいます。このような仕様は、初心者が言語を学習する場合に混乱を招きます。C--言語では、配列は一貫して参照型として取り扱われます。

その他にも、C 言語の難しい文法を取り去る工夫をしています。Java 言語と似た仕様にするにより、Java 言語でプログラミングの入門をした人が学習しやすくなっています。

「実用的なシステム記述言語であること」 C--言語は TaC のシステム記述言語として、TaC の OS や C--コンパイラを記述することを目標にしています。そのため、無闇に文法を簡単化すること無く、実用的に使用するために必要な文法は残してあります。例えば、制御文は if, while, for, do-while, return, break, continue 等が一通り準備されています。

また、なるべく効率の良いオブジェクトコードを出力する努力をしています。

「TaC 上で実行可能なこと」 最終的に TaC 上でセルフ開発環境を構築することを目指しています。C--コンパイラは、セルフ開発環境の中核になるコンポーネントです。そこで、C--コンパイラは TaC の限られた主記憶 (64KiB) で実行できるようにメモリを節約するような設計がされています。コンパイラのプログラムが小さいこともそうですが、単一の名前表で変数、関数、構造体を管理する等してデータ構造も小さくするようにしています。

「コンパイラを教材として使用できること」 C--コンパイラは、高専や大学の学生が、コンパイラの教材として使用することを想定して開発されました。そのため、コンパイラがコンパクトに記述でき、コンパイラのソースコードを学生が読めることも目標になっています。

2016年2月現在のC--コンパイラはC言語で5,000行程度で記述されています。5,000行の内訳は、おおよそ、字句解析部が500行、構文・意味解析部が1,200行、中間コード生成部が800行、機械語コード生成部が900行、名前表管理部が200行、構文木管理部が300行、構文木の最適化部が600行です。少し根気が必要ですが、各モジュールを順に読んでいくことができます。

また、コンパイラの仕組みを理解する手助けにする目的で、コンパイラ内部で 사용되는中間コードを出力することもできます。C--コンパイラは入力を中間コードに変換してから、TaCの機械語に変換します。中間コードは、ソースコードからの変換が比較的容易にできる仮想スタックマシンの機械語です。スタックマシンの機械語を経ることで、直接TaCの機械語に変換する場合と比較してコンパイラのアルゴリズムが易しくなっています。

第2章 C--言語開発環境のインストール

C--言語を体験するために、自分のパソコンでC--コンパイラを使用できるようにしましょう。以下の順番で作業し、開発環境をインストールしてください。

2.1 ユーティリティのインストール

TaC用のプログラムを作成するために、まず、C--コンパイラ用ユーティリティをインストールする必要があります。ソースコードは<https://github.com/tctsigemura/Util--/>から入手します。

ダウンロードした配布物を展開し「Util--解説書」(Util--/doc/umm.pdf)の手順に従いインストールします。as--、ld--、objbin--、objexe--、size--の五つのプログラムが/usr/local/binにインストールされます。

2.2 コンパイラのインストール

C--コンパイラのソースコードは<https://github.com/tctsigemura/C--/>から入手します。ダウンロードした配布物を展開し以下の順にインストールします。

2.2.1 コンパイラ本体のインストール

C--/src ディレクトリに移動し以下のように操作します。

```
$ make
cc -std=c99 -Wall -DDATE='"'date\'"' -DVER='"'cat ../VERSION\'"
...
$ sudo make install
Password:
install -d -m 755 /usr/local/bin
install -m 755 c-- /usr/local/bin
install -m 755 vm-c-- /usr/local/bin
...
```

以上で、cm2e, cm2c, cm2i, cm2v, c--, c-c--, rtc-c--, ic-c--, vm-c--の九つのプログラムが作成され/usr/local/binにインストールされました。cm2e, cm2c, cm2i, cm2vは、C--言語をコンパイルするために使用するシェルスクリプトです。これらのシェルスクリプトは、与えられたファイルの拡張子から処理すべき手順を判断し、コンパイラやユーティリティを自動的に実行します。

- cm2e は、C--プログラムを TaC で実行できる「.exe」ファイルに変換します。
- cm2c は、C--プログラムを UNIX や macOS で実行できるファイルに変換します。
- cm2i は、C--プログラムを中間コードに変換します。
- cm2v は、C--プログラムをスタックマシンのニーモニックに変換します。
- c--は、TaC用のC--言語コンパイラ本体です。C--プログラムを TaC のアセンブリ言語に変換します。通常 cm2e から呼び出され、ユーザが直接使用することはありません。
- c-c--は、C--プログラムを C 言語に変換するトランスレータです。変換された C 言語プログラムは UNIX や macOS で実行できます。通常 cm2c から呼び出され、ユーザが直接使用することはありません。
- rtc-c--は c-c--と同様なトランスレータですが、c-c--と異なり、出力したプログラムに実行時エラーチェック機能を組み込みます。実行時エラーチェックにより、null 参照を使用した場合、配列使用時に添字が範囲を超えていた場合に、それを検出してプログラムが確実に停止します。通常 cm2c から呼び出され、ユーザが直接使用することはありません。
- ic-c--は、コンパイラの勉強をしたい人のために、中間言語 (65 ページ) を出力して見せるコンパイラです。通常 cm2i から呼び出され、ユーザが直接使用することはありません。
- vm-c--は、コンパイラの勉強をしたい人のために、中間言語 (65 ページ) をよく反映した、仮想スタックマシンのニーモニックを出力して見せるコンパイラです。通常 cm2v から呼び出され、ユーザが直接使用することはありません。

なお、これら九つのプログラムの使用方法是、コマンドリファレンス (59 ページ) で紹介します。

2.2.2 ヘッドファイルのインストール

C--言語プログラム用のヘッドファイルをインストールします。C--/include ディレクトリに移動し以下のように操作します。/usr/local/cmmInclude にインストールされます。

```
$ sudo make install
Password:
install -d -m 755 /usr/local/cmmInclude
rm -f /usr/local/cmmInclude/*.hmm
install -m 644 *.hmm /usr/local/cmmInclude
```

2.2.3 ライブラリのインストール

C--/lib ディレクトリに移動し以下のように操作します.

```
$ sudo make install
Password:
cm2e -c ../SrcTac/crt0.s
...
install -m 644 libtac.o /usr/local/cmmLib
...
install -m 644 *. [ch] /usr/local/cmmLib/LibRtc
install -m 644 ../SrcC/cfunc.hmm /usr/local/cmmLib/LibRtc
install -m 644 ../SrcC/wrapper.c /usr/local/cmmLib/LibRtc
...
install -m 644 *. [ch] /usr/local/cmmLib/LibNortc
install -m 644 ../SrcC/cfunc.hmm /usr/local/cmmLib/LibNortc
install -m 644 ../SrcC/wrapper.c /usr/local/cmmLib/LibNotc
...
```

/usr/local/cmmLib ディレクトリには、以下のものがインストールされます.

- libtac.o は C-- 言語で記述した TacOS 用のライブラリ関数群です.
- LibNortc ディレクトリには、トランスレータが実行時エラーチェックを行わない実行形式を作るときに使用する C 言語で記述したライブラリ関数などがインストールされます.
- LibRtc ディレクトリには、トランスレータが実行時エラーチェックを行う実行形式を作るときに使用する C 言語で記述したライブラリ関数などがインストールされます.

2.3 サンプルプログラムのコンパイル

C--/samples/hello ディレクトリに移動します. `hello.cmm` プログラムが準備してあります. これをコンパイルして実行してみましょう. `hello.cmm` プログラムは以下のような C-- 言語プログラムです.

```
//  
// hello.cmm : C--のサンプルプログラム  
//  
#include <stdio.hmm>  
  
public int main() {  
    printf("hello,world\n");  
    return 0;  
}
```

2.3.1 コンパイルして PC で実行

C--/samples/hello ディレクトリで以下のように操作すると, `hello.cmm` プログラムをコンパイルして PC で実行することができます. なお, `cm2c` は,「[2.2 コンパイラのインストール](#)」でインストールしたシェルスクリプトです. コンパイラとユーティリティを自動的に起動して, C-- 言語プログラムを PC で実行可能なプログラムに変換します.

```
$ cm2c -o hello hello.cmm  
$ ./hello  
hello,world
```

2.3.2 コンパイルして TaC で実行

C--/samples/hello ディレクトリで以下のように操作すると, `hello.cmm` プログラムをコンパイルして TaC で実行可能な `hello.exe` を作成することができます. なお, `cm2e` は,「[2.2 コンパイラのインストール](#)」でインストールしたシェルスクリプトです. コンパイラとユーティリティを自動的に起動して, C-- 言語プログラムを TaC で実行可能なプログラムに変換します. `hello.exe` をメモリカードにコピーすると TaC で実行できます.

```
$ cm2e -o hello hello.cmm
$ ls -l
...
-rw-r--r--  1 sigemura  staff   138 May  5 01:03 hello.cmm
-rw-r--r--  1 sigemura  staff  8164 May 28 23:28 hello.exe
-rw-r--r--  1 sigemura  staff  5862 May 28 23:28 hello.map
```

2.3.3 いろいろな中間ファイル

上の例で示した他に、hello.cmm から数種類のファイルを作ることができます。

- hello.c は、cm2c を-S オプション付きで実行して hello.cmm を変換した C 言語ファイルです。「\$ cm2c -S hello.cmm」のように実行します。上記の hello は、これを C 言語コンパイラでコンパイルしたものです。

```
#include <stdio.h>
#define _cmm_OS "hello,world\n"
int main(){
printf(_cmm_OS);
return 0;
}
```

- hello.s は、cm2e を-S オプション付きで実行して hello.cmm を変換した TaC のアセンブリ言語プログラムです。「\$ cm2e -S hello.cmm」のように実行します。上記の hello.exe は、このファイルから C--コンパイラ用のユーティリティ(Util--)を用いて作成されました。

```
_stdin  WS      1
_stdout WS      1
_stderr WS      1
.L1     STRING  "hello,world\n"
_main   PUSH    FP
        LD      FP,SP
        CALL    __stkChk
        LD      GO,#.L1
        PUSH    GO
        CALL    _printf
        ADD     SP,#2
        LD      GO,#0
        POP     FP
        RET
```

- `hello.i` は, `hello.cmm` を `cm2i` により中間言語に変換したプログラムです.
「\$ `cm2i hello.cmm`」のように実行します. 中間言語の詳細は, [65](#) ページで紹介
します.

```
vmNam(25)
vmWs(1)
vmNam(26)
vmWs(1)
vmNam(27)
vmWs(1)
vmLab(1)
vmStr("hello,world\n")
vmNam(72)
vmEntry(0)
vmLdLab(1)
vmArg()
vmCallF(1, 69)
vmPop()
vmLdCns(0)
vmMReg()
vmRet()
```


- `hello.v` は, `hello.cmm` を `cm2v` により仮想スタックマシンのニーモニックに変換したプログラムです. 中間言語とニーモニックは一つ一つに対応しています.
「\$ `cm2v hello.cmm`」のように実行します. 仮想スタックマシンのニーモニックの詳細は, [65](#) ページで紹介します.

```
_stdin
    WS      1
_stdout
    WS      1
_stderr
    WS      1
.L1
    STRING  "hello,world\n"
_main
    ENTRY   0
    LDC     .L1
    ARG
    CALLF   1,_printf
    POP
    LDC     0
    MREG
    RET
```

2.3.4 Makefile ファイル

Makefile は, コンパイル手順を記述したファイルです. 数種類の例を示しますので参考にしてください. なお, コマンド (`em2e` と `rm`) 左の空白には TAB を用います.

```
#
# Makefile.tac : C--言語から Tac の実行形式に変換する手順
#

hello.exe: hello.cmm
    cm2e -o hello hello.cmm

clean:
    rm -f hello.exe hello.map
```

```
#
# Makefile.unix : C--言語から macOS や UNIX の実行形式に変換する手順
#

hello: hello.cmm
    cm2c -o hello hello.cmm

clean:
    rm -f hello
```

```
#
# C-- 言語から a.out, .exe, .v ファイルを作る手順
#

all: hello hello.exe hello.v

# UNIX, macOS の a.out へ変換
hello: hello.cmm
    cm2c -o hello hello.cmm

# TacOS の実行形式を作る
hello.exe: hello.cmm
    cm2e -o hello.exe hello.cmm

# C--コンパイラの間言言語に変換する
hello.v: hello.cmm
    cm2v hello.cmm

clean:
    rm -f hello hello.c hello.s hello.v *.lst *.sym *.map \
    *.o *.exe *~
```

第3章 C--言語の仕様

システム記述言語として実績のある C 言語を参考に C--言語は設計されました。しかし、C 言語は設計が古く分かりにくい仕様が多い言語でもあります。そこで、設計が割と新しい Java 言語を参考に C 言語の問題点を避けるようにしました。最終的に C--言語は、「Java 言語の特徴を取り入れた簡易 C 言語」になりました。

3.1 コメント

C--言語では、2 種類のコメントを使用できます。一つは `/* ~ */` 形式のコメント、もう一つは `// ~` 行末形式のコメントです。以下に例を示します。コメントは、空白を挿入できる場所ならどこにでも書くことができます。

```
/*
 * コメントの例を示すプログラム
 */
#include <stdio.h> // printf を使用するために必要

public int main( /* 引数なし */ ) {
    printf("%d\n",10);
    return 0; // main は int 型なので
}
```

3.2 プリプロセッサ

C--言語の仕様ではありませんが、通常 C--コンパイラは C 言語用のプリプロセッサと組み合わせて使用します。前の章で紹介した `cm2e`, `cm2c`, `cm2i`, `cm2v` は、自動的にプリプロセッサを起動して C--プログラムを処理します。プリプロセッサのお陰で、`#define`, `#include` 等のディレクティブを使用することができます。

C--コンパイラはプリプロセッサが処理した結果を受け取ります。受け取った入力、ヘッダファイル内部に相当する部分にエラーを見つけた場合でも、正しくエラー場所をレポートできます。また、C 言語を出力するトランスレータとして動作する場合は、出力し

たC言語プログラム中に適切な`#include`ディレクティブを出力したり、ヘッダファイル内部を省略して出力する等の処理をしています¹。

3.3 データ型

C++言語のデータ型は、Java言語と同様に基本型と参照型に大別できます。基本型には、`int` 型、`char` 型、`boolean` 型の3種類があります。参照型には「配列型」、「構造体型」、「だまし型」があります。参照型はJava言語の参照型と良く似た型です。

3.3.1 基本型

`int` 型は整数値の表現に使用します。`char` 型は文字の表現に使用します。`boolean` 型は `true` と `false` のどちらかの値を取る論理型です。Java言語の `boolean` 型と同じものです。違う型の間での代入はできません。また、自動的な型変換も行いません²。

`int` 型

`int` 型は16bit 符号付き2の補数表現2進数です。(トランスレータ版ではC言語の `int` 型に置き換えますのでCコンパイラに依存しますが、C言語の `int` 型が32ビット、`long` 型が64ビットだと想定しています。それ以外の環境ではテストしていません。) -32768 から 32767 までの範囲の数値を表現することができます。`int` 型変数は次のように宣言します。

```
// int 型変数を宣言した例
int a;                      // int 型のグローバル変数
int b = 10;                 // 初期化もできる
public int main() {
    int c;                  // ローカル変数
    int d = 20;             // 初期化もできる
    return 0;
}
```

`int` 型の定数は、上のプログラム例にあるように「10」、「20」と書きます。また、16進数、8進数で書くこともできます。上の例と同じ値を、16進数では「0xa」、「0x14」のように、8進数では「012」、「024」のように書きます。`int` 型は、四則演算、ビット毎の論理演算、シフト演算、比較演算等の計算に使用できます。

¹前章の `hello.c` の例を見てください。

²この仕様は厳しすぎました。将来、一部の自動的な型変換は許可します。

char 型

char 型は文字を格納するデータ型です。内部表現は 8bit の ASCII コードですが整数型の一種ではなく、int 型との自動的な型変換や四則演算等はありません。char 型を用いてできる計算は同値比較だけです³。「chr 演算子」、「ord 演算子」を用いた明示的な型変換により、char 型の文字と int 型の ASCII コードの間で相互変換ができます。

```
// char 型変数を宣言した例
char a;                                // char 型のグローバル変数
char b = 'A';                          // 初期化もできる
public int main() {
    char c;                            // ローカル変数
    char d = 'D';                      // 初期化もできる
    int i = ord(b);                    // char 型から ASCII コードに変換
    c = chr(i);                        // ASCII コードから char 型に変換
    return 0;
}
```

char 型の定数は、上のプログラム例にあるように「'A'」、「'D'」と書きます。制御文字を表現するために表 3.1 のエスケープ文字が用意されています。

表 3.1: エスケープ文字

エスケープ文字	意味
\n	改行
\r	復帰
\t	水平タブ
\x16 進数	文字コードを 16 進数で直接指定
\8 進数	文字コードを 3 桁以内の 8 進数で直接指定
\文字	印刷可能な文字を指定 (\' や \\ 等)

boolean 型

C 言語では int 型で論理値を表現しました。そのため、条件式を書かなければならないところに間違っって代入式を書いたミスが発見できず苦勞することがよくありました。C++ 言語では論理型 boolean を導入したので、このようなミスをコンパイラが発見できます。

³この仕様も厳しすぎました。将来、大小比較も許可する予定です。

```
// C 言語でよくある条件式と代入式の書き間違い
if (a=1) {
    ...
}
```

boolean 型は論理演算と同値比較演算のオペランドになることができます。boolean 型の定数値は、`true`、`false` と書き表します⁴。boolean 型も `int` 型と互換性はありません。「`bool` 演算子」、`ord` 演算子」による明示的な型変換を用いると `int` 型との変換が可能です。次に boolean 型の変数を宣言して使用する例を示します。

```
// boolean 型の使用例
boolean b = true;    // true は定数

public int main() {
    boolean c = x==10; // 比較演算の結果は boolean 型
    b = b && c;        // 論理演算の結果も boolean 型
    if (b) {          // 論理値なので条件として使用できる
        b = false;    // false も定数
        ...
    }
    int i = ord(b);    // boolean 型から内部表現への変換
    b = bool(i);       // 内部表現から boolean 型への変換
    ...
}
```

3.3.2 参照型

参照型は C 言語のポインターに似た型です。Java 言語の参照型と非常に良く似ています。参照型には「配列型」、「構造体型」、「だまし型」があります。参照型の値はインスタンスのアドレスです。参照型の特別な値として何も指していない状態を表す `null` があります。`null` の値はアドレスの 0 です。ここでは、配列、多次元配列、文字列、`void` 配列、構造体、だまし型について解説します。

⁴`true` の内部表現は 1、`false` の内部表現は 0 です。

配列

C++言語でも配列を使用することができます。配列は「型名 []」と宣言します。例えば、int 型や char 型の配列 (参照変数) は次のように宣言します。

```
// 配列の参照変数を宣言した例
int[] a;
char[] b;
```

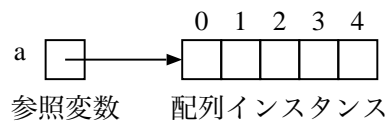


図 3.1: 配列の構造

図 3.1 のように、C++言語の配列は参照変数と配列インスタンスの組合せによって実現します。上の宣言では、参照変数が生成されるだけです。配列として使用するためには次の例のように「array」や「malloc」を用いて配列インスタンスを割り付ける必要があります。「array」は、配列インスタンスを静的に割り付けます。「array」は、関数の外で宣言される配列だけで使用できます。「malloc」は、配列インスタンスを実行時に動的にヒープ領域に割り付けます。「malloc」で割り付けた領域は、使用後「free」によって解放する必要があります。

```
// 配列インスタンスを割り付ける例
int[] a, b = array(10); // 要素数 10 の int 配列領域を割り付ける
public int main() {
    a = malloc(sizeof(int)*5); // 要素数 5 の int 配列領域を割り付ける
    ...
    free(a); // malloc した領域は忘れず解放する
    return 0;
}
```

配列は次のようなプログラムでアクセスできます。添字は 0 から始まります。

```
// 配列をアクセスする例
b[9] = 1;
a[0] = b[9] + 1;
```

多次元配列

多次元配列は配列の配列として表現されます。図 3.2 に示すように、1 次元配列の参照を要素とした配列を使うと 2 次元配列になります。下に、2 次元配列を使用するプログラム例を示します。プログラム中の a2 は、malloc によって、図 3.2 のようなデータ構造に作り上げられます。「malloc」を使用する場合は、プログラムが複雑になってしまいますが、長方形ではない配列も実現できます。プログラム中 b2 は、「array」を使用して多次元配列に必要な配列インスタンスを割り付けた例です。このように「array」を使用すると、多次元配列に必要な複雑なデータ構造を簡単に割り付けることができます。

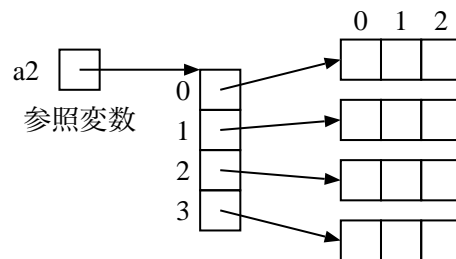


図 3.2: 2 次元配列の構造

```

// 2 次元配列の例
int[] [] a2, b2 = array(4,3);          // 2 次元配列の領域を割り付ける
public int main() {
    a2 = malloc(sizeof(void[])*4);     // 参照の配列を割り付ける
    for (int i=0; i<4; i=i+1) {
        a2[i] = malloc(sizeof(int)*3); // int 型の 1 次元配列を割り付ける
    }
    ...
    for (int i=0; i<4; i=i+1) {
        free(a2[i]);                   // int 型の 1 次元配列を解放
    }
    free(a2);                           // 参照の配列を解放
    return 0;
}

```

次のプログラムは多次元配列をアクセスする例です。このプログラムは、図 3.2 の右下の要素 (最後の要素) に 1 を代入したあと、それを使用して b2 の要素の値を決めます。


```
a2[3][2] = 1;
b2[3][2] = a2[3][2] + 1;
```

文字列

C 言語同様に、文字列は `char` 型の配列として表現されます。文字列は、文字コード `0x00` の文字で終端されます。次のプログラム例のように文字列定数を用いることができ、また、文字列の終端を `'\0'` との比較で判断できます。

```
// 文字列の使用例
char[] str = "0123456789";
void putstr() {
    for (int i=0; str[i]!='\0'; i=i+1) { // 文字列の終端まで
        putchar(str[i]);                // 一文字ずつ出力
    }
}
```

void 配列

`void` 型の配列は、どんな参照型とも互換性がある特別な型になります。C++ 言語は型チェックが厳しいので、異なる型の間での代入はできません。しかし、次のプログラム例のように `void` 型配列を用いることにより、異なる参照型の間で代入ができます。また、`malloc` 関数や `free` 関数は、`void` 型配列を使って実現されています。

```
// 型変換の例
struct XYZ { int x,y,z; };
XYZ p = { 1, 2, 3 };
void putXYZ() {
    void[] tmp = p;           // tmp にはどんな参照も代入可能
    int[] xyz = tmp;          // tmp からはどんな参照へも代入可能
    for (int i=0; i<3; i=i+1) {
        printf("%d\n",xyz[i]); // 構造体を配列として無理矢理アクセス
    }
}
```

構造体

C++言語の構造体は Java 言語のクラスからメソッドを取り除いたものに良く似ています。構造体は次のプログラム例のように宣言します。この例は双方向リストを構成するための `Node` 型を宣言しています。C 言語の構造体宣言に良く似ていますが、構造体名が型名になる点と、構造体が参照型である点が異なります。

```
struct Node {  
    Node next;    // 自身と同じ型を参照  
    Node prev;    // 自身と同じ型を参照  
    int  val;      // ノードのデータ  
};
```

`Node` 型の変数を宣言して使用する例を下に示します。構造体名が型名になるので `struct` を書かずに変数宣言します。構造体メンバは、「参照.メンバ名」形式で参照します。`new` の代わりに `malloc` を使用する他は Java 言語と良く似た書き方になります。

```
public int main() {  
    Node start;                                // 双方向リストのルート  
    start = malloc(sizeof(Node));              // 番兵をリストに投げ込む  
    start.next = start;                        // 番兵を初期化する  
    start.prev = start;  
    start.val  = 0;  
    ...  
}
```

だまし型

内容不明のまま参照型を宣言できます。他の言語で記述された関数を呼び出す場合など、単に参照型として扱うだけで十分な場合があります。`typedef` の後に名前を書きます。以下に使用例を示します。

```
typedef FILE;                // FILE 型（だまし型）を宣言する

void f() {
    FILE fp = fopen(...);    // C 言語の関数を呼び出す
    fputc('a', fp);          // C 言語の関数を呼び出す
    ...
}
```

long 型の代用

int の 2 倍のビット数の符号なし整数型を int 型の大きさ 2 の配列で表現し long 型の代用とします。TaC 版では 32 ビット、トランスレータ版では 64 ビット符号なし整数です。printf, fsize 等の関数が使用します。

```
int[] a = {12345, 6789};    // long 型の代用
```

3.4 関数

C++ 言語でも、C 言語同様に関数を宣言して使用することができます。C 言語と比較して C++ 言語は厳格さを求めています。つまり、先に宣言された関数しか呼び出すことができませんし、引数の個数や型が完全に一致しないとコンパイル時エラーになります。ライブラリ関数を使用する場合は、呼び出す前に必ずプロトタイプ宣言をするか、適切なヘッダファイルをインクルードする必要があります。また、関数の型を省略することができません。値を返さない関数は void、整数を返す関数は int、論理値を返す関数は boolean 等と明示する必要があります。

C 言語や Java 言語と同様に関数の仮引数は、関数の自動変数と同じように使用できます。可変個引数の関数を宣言することもできます。可変個引数関数の仮引数は「...」と書きます。可変個引数関数の内部では、49 ページで説明する _args 関数を使用して引数をアクセスします⁵。次にプログラム例を示します。

⁵C 言語へのトランスレータ版では、可変個引数関数を定義することができません。

```

#include <stdio.h>           // printf のプロトタイプ宣言が含まれる
int f() {                    // 引数の無い関数
    return 1;                // void 型以外の関数は必ず return が必要
}

void g(int x) {
    x = x * x;                // 仮引数は変数のように使用できる
    printf("%04x\n", x);      // プロトタイプ宣言が必要
}

public int main() {
    int x = f();               // 関数の呼び出し
    g(x);                     // 引数の型と個数が一致する必要がある
    return 0;                 // void 型以外の関数は必ず return が必要
}

```

3.5 interrupt 関数

interrupt 関数は、OS カーネル等の割込みハンドラを C--言語で記述するために用意しました。コンパイラに `-K` オプションを与えないと使用できません。

interrupt 関数は CPU のコンテキスト (フラグ、レジスタ等) を全く破壊しません。関数の入口でコンテキストをスタックに保存し、出口で復旧します。割込みにより起動される関数なので、プログラムから呼び出すことはできません。仮引数を宣言することもできません。次の例のように関数型の代わりに `interrupt` と書きます。例中の `main` 関数のように、`addrof` 演算子 (27 ページ参照) や `iToA` 関数 (47 ページ参照) を使用して、割込みベクタに `interrupt` 関数を登録します。

```

interrupt timerHdr() {       // タイマー割込みハンドラのつもり
    ...
}

public int main() {
    int[] vect = _iToA(0xffe0); // vect は割込みベクタの配列
    vect[4] = addrof(timerHdr); // vect[4] はタイマー割込みのベクタ
    ...
}

```

3.6 変数

C++言語の変数は静的な変数と自動変数の2種類です。関数の外部で宣言した変数は全て静的な大域変数になります。逆に、関数の内部で宣言した変数は全てブロック内でローカルな自動変数になります。関数の内部では、どこでも変数宣言が可能です。ローカル変数の有効範囲はブロックの終わりまでです。同じ名前の変数があった場合はローカル変数が優先されます。ローカル変数同士の名前の重複は認めません (Java 言語と同じ規則, C 言語と異なる)。次にプログラム例を示します。

```
#include <stdio.h>
int    n = 10;                // 静的な変数
int[]  a = array(10);        // 静的な配列
public int main() {
    int i;                    // 関数内ローカル変数
    for (i=0;i<n;i=i+1) {     // 大域変数 n のこと
        int j = i * i;        // ブロック内ローカル変数
        printf("%d\n",j);
        int n = j * j;        // どこでも変数宣言可能
        printf("%d %d\n",j,n); // ローカルな n のこと
    }
    printf("%d\n",n);         // 大域変数 n のこと
    return 0;
}
```

3.7 変数の初期化

基本型の変数は、いつでも宣言と同時に初期化することができます。参照型の変数は静的に割り付けられる場合だけ初期化できます。構造体内部に入れ子になった参照型は `null` で初期化することしかできません。ただし名前表のようなデータ構造を作るために、文字列での初期化だけは可能にしています。

```

int      n = 10;                // 基本型変数の初期化
int[]    a = { 1, 2, 3 };      // 基本型配列の初期化
int[][]  b = {{1,2,0},{1,2,3,0}}; // いびつな配列の初期化
struct List { int val; List next; }; // 構造体の宣言
List     r = { 1, null };      // 構造体変数の初期化
struct NameEntry { char[] name, int val; };
NameEntry[] weekTable = {      // 名前表を作成する例
    {"Sun", 1}, {"Mon", 2}, {"Tue", 3}
};
public int main() {
    int i = 10;                // 自動変数の初期化
    return 0;
}

```

3.8 public 修飾子

関数、大域変数を他のコンパイル単位から参照できるようにします。public 修飾子の付いていない関数や大域変数は他のコンパイル単位からは見えないので、重複を心配しないで自由に名前を付けることができます。main 関数はスタートアップルーチンから呼び出されるので、必ず public 修飾をしなければなりません。

```

int      n = 10;                // 同じ .cmm ファイル内だけで参照可
public int m = 20;              // 他の .cmm ファイルからも参照可

void f() { ... }                // 同じ .cmm ファイル内だけで参照可
public void g() { ... }         // 他の .cmm ファイルからも参照可

public void printf(char[] s, ...); // ライブラリ関数は public

public int main() {             // main は必ず public
    f();
    g();
    printf("\n");
    return 0;
}

```

3.9 演算子

C++言語にはC言語をお手本に一通りの演算子が準備されています。しかし、コンパイラを小さくする目的で、レパトリの多い代入演算子、前置後置等の組合せが複雑なインクリメント演算子とデクリメント演算子を省略しました。

3.9.1 代入演算

C言語やJava言語には、たくさんの種類の代入演算子があり便利に使用できました。C++言語では、コンパイラをコンパクトに実装するために代入演算子を「=」の1種類だけにしました。C言語やJava言語同様、代入演算の結果は代入した値になります。

C++言語では、代入演算子の左辺と右辺が厳密に同じ型でなければなりません。これは、コンパイル時になるべく多くのバグを発見するための仕様です。参照型の場合も型が厳密に一致している必要があります。ただし、void[] だけ例外的にどの参照型とも代入可能です。自動的な型変換はありません。

```
int    a;
boolean b = true;
char   c;
struct X { int r; };
struct Y { int r; };
a = 10;           // 同じ型なので代入可能
c = a;           // (エラー) 型が異なるので代入できない
a = b;           // (エラー) 型が異なるので代入できない
int i = a = 9;    // 代入演算 (a=9) の結果は代入した値 (9)
                  // 代入演算の結果 (9) を i に代入する

X x = { 1 };
Y y;
y = x;           // (エラー) 型が異なるので代入できない
void[] p = x;    // void[] にはどんな参照型も代入可能
y = p;           // void[] はどんな参照型にも代入可能
```

3.9.2 数値演算

int 型データの計算に、2項演算子の「+」(和),「-」(差),「*」(積),「/」(商),「%」(余)が使用できます。その他に、単項演算子「+」,「-」が使用できます。演算子の優先順位は数学と同じです。計算(数値演算)をして、計算結果を変数に代入(代入演算)する例を次に示します。

```
x = -10 + 3 * 2;
```

3.9.3 比較演算

(1) 整数型の大小比較と同値の判定, (2) 参照型, 文字型, 論理型の同値の判定ができます。大小比較の演算子は, 「>」(より大きい), 「>=」(以上), 「<」(未満), 「<=」(以下) の4種類です。同値を判定する演算子は, 「==」(等しい), 「!=」(異なる) の2種類です。比較演算の結果は論理型です。比較演算の結果を論理型変数に代入することができます。論理型は if 文や while 文などの条件に使用できます。次に, 比較演算の例を示します。

```
int x = 11;
boolean b;
b = x > 10;           // 整数の大小比較
if (b==false) { ... } // 論理型の同値判定
```

3.9.4 論理演算

論理型のデータを対象にした演算です。演算結果も論理型になります。単項演算子「!」(否定), 2項演算子「&&」(論理積), 「||」(論理和) が使用できます。次に, 論理演算の例を示します。論理型変数 b に比較結果を求めた後で, b の否定を if 文の条件に使用しています。

```
int x = 11;
boolean b;
b = 10 <= x && x <= 20; // (10<=x) と (x<=20) の論理積を b に代入
if (!b) { ... }         // 論理値の否定
```

3.9.5 ビット毎の論理演算

整数値を対象にした演算です。演算結果も整数値になります。単項演算子「~」(全ビットを反転), 2項演算子「&」(ビット毎の論理積), 「|」(ビット毎の論理和), 「^」(ビット毎の排他的論理和) が使用できます。次に, ビット毎の論理演算の例を示します。マスクを使用して, 変数 x の下位8ビットを取り出して表示します。printf の括弧内で下位8ビットを取り出すためにビット毎の論理演算をしています。


```
int x    = 0xabcd;
int msk = 0x00ff;
printf("%x", x & msk);
```

3.9.6 シフト演算

整数値を対象にした演算です。演算結果も整数値になります。2項演算子「>>」(右算術シフト)、「<<」(左算術シフト)が使用できます。算術シフトしかありません。次に、シフト演算の例を示します。シフト演算とマスクを使用して、変数 `x` の値の上位8ビットを取り出して表示します。算術シフトですから、マスクを忘れないように注意する必要があります。 `printf` の括弧内で上位8ビットを取り出す計算をしています。

```
int x    = 0xabcd;
printf("%x", x >> 8 & 0x00ff);
```

3.9.7 参照演算

配列要素と構造体メンバをアクセスするための「[添字式]」や「.」は、参照を対象にする演算子と考えることができます。「[添字式]」演算子は、配列参照と添字式から配列要素を求めます。「.」演算子は、構造体参照とメンバ名からメンバを求めます。配列の配列である多次元配列のアクセスは、「[添字式]」演算子により取り出した配列要素が配列参照なので、更に「[添字式]」演算子により次の配列要素を取り出すと考えます。実際、C--コンパイラの内部でもそのように考えて扱っています。次に多次元配列や構造体を使用したプログラムの例を示します。「[3.3.2 参照型](#)」に示したプログラム例も参考にしてください。

```
// 多次元配列は配列参照の配列と考える
int[] [] a = {{1,2},{3,4}};          // 2次元配列を作る
void f() {
    int[] b = a[0];                    // 2次元配列の要素は1次元配列
    int    c = b[1];                    // 1次元配列の要素は int 型
    int    d = a[0][1];                 // c と d は同じ結果になる
}

// 構造体リスト例
struct List {                          // リスト構造のノード型
    List next;                          // 次のノードの参照
    int  val;                           // ノードの値
};
List a;                                // リストのルートを作る

void g() {
    a = malloc(sizeof(List));           // リストの先頭ノードを作る
    a.val = 1;
    a.next = malloc(sizeof(List));      // リストの2番目ノードを作る
    a.next.val = 2;
    a.next.next = null;                 // 2番目ノードは参照の参照
}
```

3.9.8 sizeof 演算

変数のサイズを知るための演算子です。malloc で領域を割り付けるとき使用します。「sizeof(型)」のように使用します。型が基本型の場合は「変数の領域サイズ」、構造体の場合は「インスタンスの領域サイズ」をバイト単位で返します。型が配列型の場合は、何型の配列かとは関係なく「参照の領域サイズ (アドレスのバイト数)」を返します。通常、参照の領域サイズは「sizeof(void[])」と書きます。配列インスタンスのサイズが必要なときは、sizeof の値に配列の要素数を掛け算して求めます。以下に使用例を示します。

```
// sizeof 演算子の使用例
int a = sizeof(int);           // int のサイズ (TaC 版で 2)
int b = sizeof(char);          // char のサイズ (TaC 版で 1)
int c = sizeof(boolean);       // boolean のサイズ (TaC 版で 1)

int d = sizeof(void[]);        // 参照のサイズ (TaC 版で 2)
struct X { int x; int y; };
int e = sizeof(X);             // 構造体 X のサイズ (TaC 版で 4)

int[] f = malloc(sizeof(int)*3); // 大きさ 3 の int 配列を割当
X[] g = malloc(sizeof(void[])*3); // 大きさ 3 の参照配列を準備
g[0] = malloc(sizeof(X));        // 構造体インスタンスを割当
g[1] = malloc(sizeof(X));
g[2] = malloc(sizeof(X));
```

3.9.9 addrof 演算

関数や大域変数のアドレスを知るための演算子です。「addrof(大域名)」のように使用し整数型の値を返します。interrupt 関数を割込みベクタに登録したりする目的で使います。配列や構造体の要素や、関数のローカル変数のアドレスを求めることはできません。

3.9.10 ord 演算

char 型、boolean 型の値を int 型に変換します。char 型の場合は文字の ASCII コード、boolean 型の場合は true=1, false=0 となります。

3.9.11 chr 演算

int 型の ASCII コードから、char 型の文字に変換します。

3.9.12 bool 演算

int 型の 1, 0 から、boolean 型の論理値に変換します。
以下に、ord, chr, bool 演算子の使用例を示します。

```
// ord(), chr(), bool() 演算子の使用例
int i = 0x41;           // 'A' の ASCII コード
char c = chr(i);        // c に、文字'A' が代入される
c = chr(ord(c)+1);      // c に、文字'B' が代入される
i = ord(true);          // i は 1 になる
boolean b = bool(1);    // b は true になる
```

3.9.13 カンマ演算

複数の式を接続して文法上一つの式にします。例えば、式が一つしか書けない for 文の再初期化部分に二つの式を書くために使用できます。カンマ演算子は、最も優先順位の低い演算子です。

```
// カンマ式を使用した例
for (i=0;i<0;i=i+1,j=j-1) { ... } // 再初期化に二つの式を書いた
```

3.9.14 演算子のまとめ

関数の呼び出しも厳密には「(引数リスト)」演算子と考えることができますが、関数の呼び出しかたは 19 ページで説明したので省略します。その他に、演算の順序を明確にするための「(式)」も含めて、演算子の優先順位を表 3.2 にまとめます。表の上の方に書いてある演算子が優先順位の高い演算子です。同じ高さにある演算子同士は同じ優先順位になります。計算は優先順位の高いものから順に行われます。例えば、「*」は「+」よりも優先順位が高いので先に計算されます。優先順位が同じ場合は結合規則の欄で示した順に計算されます。

3.10 文

関数の内部に記述されるもので、変数宣言以外の記述を文と呼びます。文は機械語に変換されて実行されます。文には、空文、式文、ブロック、制御文 (if 文や for 文) 等があります。C++言語の制御文には switch 文がありませんが C 言語にある他の制御文は一通り揃っています。

表 3.2: 演算子の優先順位

演算子	結合規則
sizeof(), addrof(), ord(), chr(), bool(), 関数呼出, (), [], .	左から右
+(単項演算子), -(単項演算子), !, ~	右から左
*, /, %	左から右
+, -	左から右
<<, >>	左から右
>, >=, <, <=	左から右
==, !=	左から右
&	左から右
^	左から右
	左から右
&&	左から右
	左から右
=	右から左
,	左から右

3.10.1 空文

単独の「;」を空文と呼び、文法上、一つの文として扱います。本文のない for 文等で形式的な本文として使用します。次に、空文を用いる例を示します。

```
for (i=2; i<n; i=i*i) // 必要なことはこの1行で全部記述できた
;                      // 空文
```

3.10.2 式文

式の後ろに「;」を付けたものを式文と呼び、文法上、一つの文として扱います。C++言語の文法に代入文はありませんが、代入式に「;」を付けた「式文」が同じ役割に使用されます。

式 ;

3.10.3 ブロック

「{」と「}」で括って複数の文をグループ化し、文法上、一つの文にします。if 文や while 文の「本文」は、文法的には一つの文でなければなりません。複数の文を「本文」

として実行させたい場合はブロックにします。また、ブロックはローカル変数の有効範囲を決定します。ブロック内部で宣言された変数の有効範囲はブロックの最後までです。

```
{ 文 または 変数宣言 ... }
```

3.10.4 if 文

条件によって実行の流れを変更するための文です。「条件式」は論理型の値を返す式でなければなりません。「条件式」の値が true の場合「本文 1」が実行され、false の場合「本文 2」が実行されます。なお、else 節 (「else 本文 2」の部分) は省略することができます。

```
if ( 条件式 ) 本文 1 【 else 本文 2 】
```

3.10.5 while 文

条件が成立している間、while 文の「本文」を実行します。「条件式」は論理型の値を返す式でなければなりません。まず、「条件式」を計算し、値が true なら「本文」が実行されます。これは、「条件式」の値が false になるまで繰り返されます。

```
while ( 条件式 ) 本文
```

3.10.6 do-while 文

条件が成立している間、do-while 文の「本文」を実行します。「条件式」は論理型の値を返す式でなければなりません。まず「本文」を実行し、次に「条件式」を計算します。「条件式」の値が true なら、再度、「本文」の実行に戻ります。これは、「条件式」の値が false になるまで繰り返されます。

```
do 本文 while ( 条件式 ) ;
```

3.10.7 for 文

便利に拡張された while 文です。「条件式」は論理型でなければなりません。まず、「初期化式」か「ローカル変数宣言」を実行します。次に「条件式」を計算し、値が true なら「本文」を実行します。最後に「再初期化式」を実行し、その後「条件式」の計算に戻ります。これは、「条件式」の値が false になるまで繰り返されます。

「ローカル変数宣言」で宣言された変数は、「条件式」、「再初期化式」、「本文」で使用することができますが、それ以降では使用できません。「初期化式」、「条件式」、「再初期化式」のどれも省略可能です。「条件式」を省略した場合は無限ループの記述になります。

`for(【初期化式 | ローカル変数宣言】 ; 【条件式】 ; 【再初期化式】) 本文`

```
// for 文の使用例
for (int j=0; j<10; j=j+1) {
    ...
    if (j==5) { ...                // j が使用できる
    ...
}
n = j;                            // (エラー) j が未定義になる

for (;;) { ... }                  // 無限に本文を繰り返す
```

3.10.8 return 文

関数から戻るときに使用します。関数の途中で使用すると、関数の途中から呼び出し側に戻ることができます。void 型以外の関数では、関数の最後の文が return 文でなければなりません。「式」は void 型の関数では書いてはなりません。逆に、void 型以外の関数では書かなければなりません。「式」の型と関数の型は一致していなければなりません。なお、interrupt 関数には void 型の関数と同じルールが適用されます。

`return 【式】 ;`

```
// void 型以外の関数
int f() {
    ...
    if (err) return 1;           // f の途中から戻る
    ...
    return 0;                    // この return は省略できない
}

// void 型の関数
void g() {
    ...
    if (err) return;             // g の途中から戻る
    ...
    return;                      // この return は省略しても良い
}
```

3.10.9 break 文

for 文や while 文, do-while 文の繰り返しから脱出します。多重ループから一度に脱出することはできません。

```
break;
```

3.10.10 continue 文

for 文や while 文, do-while 文の本文の実行をスキップします。for 文では再初期化式に, while 文と do-while 文では条件式にジャンプします。

```
continue;
```


第4章 ライブラリ関数

C--言語で使える関数です。必要最低限の関数が、TacOS 版、C 言語トランスレータ版で使用できます。

4.1 標準入出力ライブラリ

`#include <stdio.hmm>`を書いた後で使します。トランスレータ版ではC言語の高水準 I/O 関数の呼出しに変換されます¹。TacOS 版でも入出力の自動的なバッファリングを行います。TacOS 版ではバッファサイズは 128 バイトです。以下の関数可以使用。

4.1.1 printf 関数

標準出力ストリームに `format` 文字列を用いた変換付きで出力します。出力した文字数を関数の値として返します。

```
#include <stdio.hmm>
public int printf(char[] format, ...);
```

`format` 文字列に以下のような変換を記述できます。

`%[-][数値] 変換文字`

-を書くと左詰めで表示します。数値は表示に使用するカラム数を表します。数値を 0 で開始した場合は、数値の右詰め表示で空白の代わりに 0 が用いられます。使用できる変換文字は次の表の通りです。

変換文字	意味
<code>o</code>	整数値を 8 進数で表示する
<code>d</code>	整数値を 10 進数で表示する
<code>x</code>	整数値を 16 進数で表示する
<code>c</code>	ASCII コードに対応する文字を表示する
<code>s</code>	文字列を表示する
<code>%</code>	<code>%</code> を表示する
<code>ld</code>	<code>int</code> 配列で表現した 32 ビット符号なし整数値を 10 進数で表示する

¹単純に置き換えができる場合は同じ名前の C 言語関数を呼び出します。そうでない場合もあります。

4.1.2 puts 関数

標準出力ストリームへ1行出力します。エラーが発生した場合は `true` を、正常時には `false` を返します。

```
#include <stdio.h>
public boolean puts(char[] s);
```

4.1.3 putchar 関数

標準出力ストリームへ1文字出力します。エラーが発生した場合は `true` を、正常時には `false` を返します。

```
#include <stdio.h>
public boolean putchar(char c);
```

4.1.4 getchar 関数

標準入力ストリームから1文字入力します。C言語の `getchar` 関数と異なり `char` 型なので EOF チェックができません。現在のところ、TacOS では標準入力を EOF にする方法は準備されていません。

```
#include <stdio.h>
public char getchar();
```

4.1.5 fopen 関数

ファイルを開きます。 `path` はファイルへのパス、 `mode` はオープンモードです。パスは “/” 区切りで表現します。TacOS にはカレントディレクトリはありません。 `fopen` は正常時に `FILE` 構造体、エラー時に `null` を返します。

```
#include <stdio.h>
public FILE fopen(char[] path, char[] mode);
```

TacOS 版では `mode` が次のような意味を持ちます。なお、トランスレータ版では、 `mode` はC言語の `fopen` にそのまま渡されます。

mode	意味
"r"	読み込みモードで開く
"w"	書き込みモードで開く（ファイルが無ければ作る）
"a"	追記モードで開く（ファイルが無ければ作る）

`fopen` は、書き込みモードか追記モード時にファイルが存在しない場合は、自動的にファイルを作成します。

4.1.6 fclose 関数

ストリームをクローズします。TacOS では、標準入出力ストリーム (stdin, stdout, stderr) をクローズすることはできません。fclose は正常時に false, エラー時に true を返します。

```
#include <stdio.hmm>
public boolean fclose(FILE stream);
```

4.1.7 fseek 関数

stream で指定したファイルの読み書き位置を変更します。seek 位置は、TacOS 版では offsh(16bit), offsl(16bit) を合わせた 32bit で指定します。トランスレータ版では offsh(32bit), offsl(32bit) を合わせた 64bit で指定します。

正常時は false を返します。エラーが発生した場合、TacOS 版ではプログラムを終了します。トランスレータ版では true を返します。

```
#include <stdio.hmm>
public boolean fseek(FILE stream, int offsh, int offsl);
```

4.1.8 fsize 関数

path で指定したファイルのサイズを size に書き込みます。ファイルサイズは、TacOS 版では size[0](上位 16bit), size[1](下位 16bit) を合わせた 32bit です。トランスレータ版では size[0](上位 32bit), size[1](下位 32bit) を合わせた 64bit です。

正常時は false を返します。エラーが発生した場合、TacOS 版ではプログラムを終了します。トランスレータ版では true を返します。

```
#include <stdio.hmm>
public boolean fsize(char[] path, int[] size);
```

4.1.9 fprintf 関数

出力ストリームを明示できる printf 関数です。stream に出力先を指定します。出力ストリームは、fopen で開いたファイルか stdout, stderr です。

```
#include <stdio.hmm>
public int fprintf(FILE stream, char[] format, ...);
```

4.1.10 fputs 関数

出力ストリームを明示できる puts 関数です。stream に出力先を指定します。出力ストリームは、fopen で開いたファイルか stdout, stderr です。

```
#include <stdio.h>
public boolean fputs(char[] s, FILE stream);
```

4.1.11 fputc 関数

出力ストリームを明示できる putchar 関数です。stream に出力先を指定します。出力ストリームは、fopen で開いたファイルか stdout, stderr です。

```
#include <stdio.h>
public boolean fputc(char c, FILE stream);
```

4.1.12 fgets 関数

任意の入力ストリームから 1 行入力します。入力は buf に文字列として格納します。n には buf のサイズを渡します。通常、buf に '\n' も格納されます。fgets は、EOF で null を、正常時には buf を返します。

```
#include <stdio.h>
public char[] fgets(char[] buf, int n, FILE stream);
```

C++ では、C 言語の gets が使用できません。gets はバッファオーバーフローの危険があるので C++ には持込みませんでした。C++ で、gets を使用したい時は fgets を使用して次のように書きます。

```
while (fgets(buf, N, stdin) != null) { ...
```

4.1.13 fgetc 関数

任意の入力ストリームから 1 文字入力します。C 言語の fgetc 関数と異なり char 型なので EOF チェックができません。EOF チェックは feof 関数を用いて行います。

```
#include <stdio.h>
public char fgetc(FILE stream);
```

TacOS 版では安全のため、fgetc 関数が EOF に会おうと強制的にプログラムを終了する仕様になっています。fgetc 関数を実行する前に、必ず、feof 関数を用いて EOF チェックをする必要があります。40 ページのソースコードに使用例があります。

4.1.14 feof関数

入力ストリームが EOF になっていると true を返します. `fgetc` を実行する前に EOF チェックのために使用します. **C 言語の feof 関数と仕様が異なります.** C 言語の feof 関数はストリームが EOF になった後で true になりますが, C++ 言語の feof 関数は次の操作で EOF になるタイミングで true になります.

```
#include <stdio.h>
public boolean feof(FILE stream);
```

4.1.15 ferror関数

ストリームがエラーを起こしていると true を返します.

```
#include <stdio.h>
public boolean ferror(FILE stream);
```

4.1.16 fflush関数

出力ストリームのバッファをフラッシュします. 入力ストリームをフラッシュすることはできません. 正常時 false, エラー時 true を返します. `stderr` はバッファリングされていないので, フラッシュしても何も起きません.

```
#include <stdio.h>
public boolean fflush(FILE stream);
```

4.1.17 readDir関数

FAT16 ファイルシステムのディレクトリファイルを読みます. `fd` には `open` システムコールでオープン済のファイル記述子を, `dir` には `Dir` 構造体のインスタンスを渡します. `Dir` 構造体の `name` メンバーは, 大きさ 12 の文字配列で初期化されている必要があります.

```
#include <stdio.h>
public int readDir(int fd, Dir dir);
```

`Dir` 構造体は `stdio.h` 中で次のように宣言されています.

```
struct Dir {
    char[] name;           // ファイル名
    int attr;              // ファイルの属性
    int clst;              // ファイルの開始クラスタ
    int lenH, lenL;        // ファイルの長さ
};
```

次に `ls` プログラムのソースコードから抜粋した `readDir` 関数の使用例を示します。

```
#include <stdio.h>
Dir dir = {"", 0, 0, 0, 0 };
int[] fLen = array(2);

// ディレクトリの一覧を表示する
int printDir(char[] fname) {
    int fd = open(fname, READ);           // ディレクトリを開く
    if (fd<0) {
        perror(fname);
        return 1;
    }

    printf("FileNameExt Attr Clst FileLength\n");
    while (readDir(fd, dir)>0) {          // ファイルが続く間
        fLen[0]=dir.lenH;
        fLen[1]=dir.lenL;
        printf("%11s 0x%02x %4d %9ld\n",    // ファイルの一覧出力
            dir.name, dir.attr, dir.clst, fLen);
    }
    close(fd);
    return 0;
}
```

4.1.18 perror 関数

`errno` グローバル変数の値に応じたエラーメッセージを表示します。 `msg` はエラーメッセージの先頭に付け加えます。 `errno` にはシステムコールやライブラリ関数がエラー番号をセットします。表 4.1 に TacOS 版のエラーとメッセージの一覧を示します。 `errno` グローバル変数と表中の記号名は `errno.h` で宣言されています。

```
#include <stdio.h>
#include <errno.h>
public int errno;
public void perror(char[] msg);
```

表 4.1: エラー一覧

記号名	メッセージ	意味
ENAME	Invalid file name	ファイル名が不正
ENOENT	No such file or directory	ファイルが存在しない
EEXIST	File exists	同名ファイルが存在する
EOPEND	File is opened	既にオープンされている
ENFILE	File table overflow	システム全体のオープン数超過
EBADF	Bad file number	ファイル記述子が不正
ENOSPC	No space left on device	デバイスに空き領域が不足
EPATH	Bad path	パスが不正
EMODE	Bad mode	モードが一致しない
EFATTR	Bad attribute	ファイルの属性が不正
ENOTEMP	Directory is not empty	ディレクトリが空でない
EINVAL	Invalid argument	引数が不正
EMPROC	Process table overflow	プロセスが多すぎる
ENOEXEC	Bad EXE file	EXE ファイルが不正
EMAGIC	Bad MAGIC number	不正なマジック番号
EMFILE	Too many open files	プロセス毎のオープン数超過
ECHILD	No children	子プロセスが存在しない
ENOZOMBI	No zombie children	ゾンビ状態の子が存在しない
ENOMEM	Not enough memory	十分な空き領域が無い
ESYSNUM	Invalid system call number	システムコール番号が不正
EZERODIV	Zero division	ゼロ割り算
EPRIVVIO	Privilege violation	特権違反
EILLINST	Illegal instruction	不正命令
EMEMVIO	Memory violation	メモリ保護違反
EUSTK	Stack overflow	スタックオーバーフロー
EUMODE	stdio: Bad open mode	モードと使用方法が矛盾
EUBADF	stdio: Bad file pointer	不正な fp が使用された
EUEOF	fgetc: EOF was ignored	fgetc 前に EOF チェック必要
EUNFILE	fopen: Too many open files	プロセス毎のオープン超過
EUSTDIO	fclose: Standard i/o should not be closed	標準 io はクローズできない
EUFMT	fprintf: Invalid conversion	書式文字列に不正な変換
EUNOMEM	malloc: Insufficient memory	ヒープ領域が不足
EUBADA	free: Bad address	malloc した領域ではない

4.1.19 プログラム例

C++言語で記述した、標準入出力関数の使用例を以下に示します。

TacOS 専用のプログラム例

- エラー処理

TacOS では、`errno` 変数にセットされるエラー番号が負の値になっています。また、アプリケーションが負の終了コードで終わった場合、シェルが終了コードを `errno` とみなしエラーメッセージを表示する仕様になっています。更にライブラリは、ユーザプログラムのバグが原因と考えられるエラーや、メモリ不足のような対処が難しいエラーが発生したとき、負の終了コードでプログラムを終了します。そこで、以下のようなエラー処理を簡略化したプログラムを書くことができます。

このプログラムは、メモリ不足で `FILE` 構造体の割り付けができないなど、対処が難しいエラーの場合に、`fopen` 内部で自動的に `errno` を終了コードにして終了します。プログラムの終了コードによりシェルがエラーメッセージを表示します。

ファイルが見つからないなどプログラムに知らせた方が良いエラーの場合は、`fopen` がエラーを示す戻り値 (`null`) を持って返ります。可能ならユーザプログラムがエラー回復を試みるべきです。下のプログラムはエラー回復を試みることなく `errno` を終了コードとして終了しています。エラーメッセージの表示をプログラム中で行っていませんが、シェルが `errno` に対応したエラーメッセージを表示します。

- EOF の検出

EOF の検出は `feof` 関数を用いて行います。C 言語のプログラムと書き方が異なりますので注意してください。

```
// ファイルの内容を表示するプログラム (TacOS 専用バージョン)
#include <stdio.h>
#include <errno.h>
public int main(int argc, char[] [] argv) {
    FILE fp = fopen("a.txt", "r");
    if (fp==null) exit(errno);    // エラー表示をシェルに任せる
    while (!feof(fp)) {
        putchar(fgetc(fp));
    }
    fclose(fp);
    return 0;
}
```


TacOS トランスレータ共通版のプログラム例

C 言語プログラム風に記述することもできます。前の例ではシェルがエラーメッセージを表示したので、エラーメッセージの内容をプログラムから細かく指定することができませんでした。次の例ではプログラムが自力でエラーメッセージを表示するので、エラーになったファイルの名前をエラーメッセージに含めることができます。

エラー表示を行ったプログラムは終了コード 1 で終わります。終了コードが正なので、シェルはエラーメッセージを表示しません。

```
// ファイルの内容を表示するプログラム
// (トランスレータ, TacOS 共通バージョン)
#include <stdio.hmm>
public int main(int argc, char[] [] argv) {
    char fname = "a.txt";
    FILE fp = fopen(fname, "r");
    if (fp==null) {
        perror(fname);    // エラー表示を自分で行う
        return 1;
    }
    while (!feof(fp)) {
        putchar(fgetc(fp));
    }
    fclose(fp);
    return 0;
}
```

4.2 標準ライブラリ

`#include <stdlib.hmm>`を書いた後で使します。

4.2.1 malloc 関数

ヒープ領域に `size` バイトのメモリ領域を確保し、領域を指す参照を返します。malloc 関数は `void[]` 型なので、領域を指す参照は全ての参照変数に代入できます。

```
#include <stdlib.hmm>
public void[] malloc(int size);
```

TacOS 版では、ヒープ領域に十分な空きが見つからないとき終了コード EUNOMEM でプログラムを終了します。トランスレータ版では、エラーメッセージを表示したあと終了コード 1 でプログラムを終了します。

動的な配列確保は C 言語と同様に malloc 関数を用いて行いますが、トランスレータ版で実行時エラーチェック機能有効にした場合は正しく動作しません。次期世代の C++ コンパイラで対応する予定です。それまでは実行時エラーチェック機能と動的な配列を同時に使用しないでください。

4.2.2 calloc 関数

連続したヒープ領域に s バイトのメモリ領域を c 個確保し、領域を指す参照を返します。確保した領域はゼロでクリアします。エラー処理と制約は malloc 関数と同様です。

```
#include <stdlib.h>
public void[] calloc(int c, int s);
```

4.2.3 free 関数

malloc 関数で割当てた領域を解放します。TacOS 版では、領域が malloc 関数で割当てたものではない可能性がある場合（マジックナンバーが破壊されている、管理されている空き領域と重なる等）、終了コード EUBADA でプログラムを終了します。

```
#include <stdlib.h>
public void free(void[] mem);
```

4.2.4 atoi 関数

atoi 関数は引数に渡した 10 進数文字列を解析して、それが表現する値を返します。

```
#include <stdlib.h>
public int atoi(char[] s);
```

4.2.5 htoi 関数

htoi 関数は引数に渡した 16 進数文字列を解析して、それが表現する値を返します。

```
#include <stdlib.h>
public int htoi(char[] s);
```

4.2.6 srand 関数

srand 関数は擬似乱数発生器を seed で初期化します.

```
#include <stdlib.h>
public void srand(int seed);
```

4.2.7 rand 関数

rand 関数は次の擬似乱数を発生します.

```
#include <stdlib.h>
public int rand();
```

4.2.8 exit 関数

exit 関数はオープン済みのストリームをフラッシュしてからプログラムを終了します. status は, 親プロセスに返す終了コードです. 0 が正常終了の意味, 1 以上はユーザが決めた終了コードです.

TacOS 版では, 負の終了コードが使用できます. 使用できるコードは表 4.1 に記号名として定義されています. 負の値を返すと親プロセスがシェルの場合, シェル側でエラーメッセージを表示してくれます.

```
#include <stdlib.h>
public void exit(int status);
```

4.3 文字列操作関数

#include <string.h>を書いた後で使います.

4.3.1 strCpy 関数

文字列 s を文字配列 d にコピーし, d を関数値として返します.

```
#include <string.h>
public char[] strCpy(char[] d, char[] s);
```

4.3.2 strNcpy 関数

文字列 *s* の最大 *n* 文字を文字配列 *d* にコピーし、*d* を関数値として返します。文字配列の使用されない部分には、'\0' が書き込まれます。文字列 *s* の長さが *n* 以上の場合は、'\0' が書き込まれないので注意して下さい。

```
#include <string.h>
public char[] strNcpy(char[] d, char[] s, int n);
```

4.3.3 strCat 関数

文字列 *s* を文字配列 *d* に格納されている文字列の後ろに追加し、*d* を関数値として返します。

```
#include <string.h>
public char[] strCat(char[] d, char[] s);
```

4.3.4 strNcat 関数

文字列 *s* の先頭 *n* 文字未満を、文字配列 *d* に格納されている文字列の後ろに追加し、*d* を関数値として返します。*d* に格納された文字列の最後には '\0' が書き込まれます。

```
#include <string.h>
public char[] strNcat(char[] d, char[] s, int n);
```

4.3.5 strCmp 関数

文字列 *s1* と文字列 *s2* を比較します。strCmp 関数は、アスキーコード順で *s1* が大きいとき正の値、*s1* が小さいとき負の値、同じ時 0 を返します。

```
#include <string.h>
public int strCmp(char[] s1, char[] s2);
```

4.3.6 strNcmp 関数

文字列 *s1* と文字列 *s2* の先頭 *n* 文字を比較します。strNcmp 関数は、strcmp 関数同様にアスキーコード順で大小を判断します。

```
#include <string.h>
public int strNcmp(char[] d, char[] s, int n);
```

4.3.7 strlen 関数

文字列 `s` の長さを返します。長さに `'\0'` は含まれません。

```
#include <string.h>
public int strlen(char[] s);
```

4.3.8 strchr 関数

文字列 `s` の中で最初に文字 `c` が現れる位置を、`s` **文字配列の添字**で返します。文字 `c` が含まれていない場合は `-1` を返します。

```
#include <string.h>
public int strchr(char[] s, char c);
```

4.3.9 strrchr 関数

文字列 `s` の中で最後に文字 `c` が現れる位置を、`s` **文字配列の添字**で返します。文字 `c` が含まれていない場合は `-1` を返します。

```
#include <string.h>
public int strrchr(char[] s, char c);
```

4.3.10 strstr 関数

文字列 `s1` の中に文字列 `s2` が現れる位置を、`s1` **文字配列の添字**で返します。文字列 `s2` が含まれていない場合は `-1` を返します。

```
#include <string.h>
public int strstr(char[] s1, char[] s2);
```

4.4 文字クラス分類関数

`#include <ctype.h>`を書いた後で使します。

4.4.1 isAlpha 関数

文字 `c` がアルファベット (`'A'~'Z'`, `'a'~'z'`) なら `true` を返します。

```
#include <ctype.h>
public boolean isAlpha(char c);
```

4.4.2 isDigit 関数

文字 `c` が数字 (`'0'~'9'`) なら `true` を返します.

```
#include <ctype.h>
public boolean isDigit(char c);
```

4.4.3 isAlnum 関数

文字 `c` がアルファベットか数字 (`'A'~'Z'`, `'a'~'z'`, `'0'~'9'`) なら `true` を返します.

```
#include <ctype.h>
public boolean isAlnum(char c);
```

4.4.4 isPrint 関数

文字 `c` が印刷可能文字 (文字コード `0x20~0x7e` の範囲) なら `true` を返します.

```
#include <ctype.h>
public boolean isPrint(char c);
```

4.4.5 isLower 関数

文字 `c` がアルファベット小文字 (`'a'~'z'`) なら `true` を返します.

```
#include <ctype.h>
public boolean isLower(char c);
```

4.4.6 isUpper 関数

文字 `c` がアルファベット大文字 (`'A'~'Z'`) なら `true` を返します.

```
#include <ctype.h>
public boolean isUpper(char c);
```

4.4.7 isXdigit 関数

文字 `c` が16進数文字 (`'0'~'9'`, `'A'~'F'`, `'a'~'f'`) なら `true` を返します.

```
#include <ctype.h>
public boolean isXdigit(char c);
```

4.4.8 isSpace 関数

文字 `c` が空白文字 (`'\t'` (TAB), `'\n'` (LF), `'\x0b'` (VT), `'\x0c'` (FF), `'\r'` (CR), `' '`) なら `true` を返します.

```
#include <ctype.h>
public boolean isSpace(char c);
```

4.4.9 toLower 関数

文字 `c` がアルファベット大文字なら小文字に変換して返します. 文字 `c` がアルファベット大文字以外の場合は変換しないで返します.

```
#include <ctype.h>
public char toLower(char c);
```

4.4.10 toUpper 関数

文字 `c` がアルファベット小文字なら大文字に変換して返します. 文字 `c` がアルファベット小文字以外の場合は変換しないで返します.

```
#include <ctype.h>
public char toUpper(char c);
```

4.5 特殊な関数

C++言語にはキャスト演算や、ポインタ演算がありません. TacOS 版では、これらの代用となる関数が `#include <crt0.h>` を書いた後で使用できます. ここで紹介する関数はトランスレータ版では使用できません.

4.5.1 _iToA 関数

整数から参照へ型を変換する関数です. 整数を引数に `void[]` 参照 (アドレス) を返します. 関数の値は `void[]` 型の参照なので, どのような参照型変数にも代入できます.

```
#include <crt0.h>
public void[] _iToA(int a);
```

4.5.2 _aToI 関数

参照から整数へ型を変換する関数です。参照 (アドレス) を引数に整数を返します。引数の型は `void[]` なので、参照型ならどんな型でも渡すことができます。

```
#include <crt0.hmm>
public int _aToI(void[] a);
```

4.5.3 _aToA 関数

参照から参照へ型を変換する関数です。異なる型の参照の間で代入をするために使用できます。

```
#include <crt0.hmm>
public void[] _aToA(void[] a);
```

4.5.4 _addrAdd 関数

C 言語のポインタ演算の代用にする関数です。参照 (アドレス) と整数を引数に渡し、参照から整数バイト先の参照 (アドレス) を返します。

```
#include <crt0.hmm>
public void[] _addrAdd(void[] a, int n);
```

4.5.5 _aCmp 関数

参照 (アドレス) の大小比較を行う関数です。C++ 言語では参照の大小比較はできません。Java 言語でも参照の大小比較はできないので、通常はこの仕様で十分と考えられます。しかし、`malloc`、`free` 関数等の実現にはアドレスの大小比較が必要です。そこで、アドレスの大小比較をする `_aCmp` 関数を用意しました。`_aCmp` 関数は、`a` の方が大きい場合は 1 を、`b` の方が大きい場合は -1 を、`a` と `b` が等しい場合は 0 を返します。

```
#include <crt0.hmm>
public int _aCmp(void[] a, void[] b);
```

4.5.6 _uCmp 関数

符号無し数の比較を行う関数です。`_uCmp` 関数は、`a` の方が大きい場合は 1 を、`b` の方が大きい場合は -1 を、`a` と `b` が等しい場合は 0 を返します。

```
#include <crt0.hmm>
public int _uCmp(int a, int b);
```


4.5.7 _args 関数

printf 関数のような可変個引数の関数を実現するために、可変個引数関数の内部で引数を配列としてアクセスできるようにする関数です。_args 関数は _args を呼び出した C--関数の第 1 引数を添字 0 とする int 配列を返します。

```
#include <crt0.hmm>
public int[] _args();
```

次に可変個引数関数の使用例を示します。

```
int f(char[] s, ...) {           // ... は可変個引数の関数を表す
    int[] args = _args();        // args 配列は引数配列を格納
    printf("%s\n", args[0]);      // 引数 s のこと (第 1 引数)
    printf("%d\n", args[1]);      // 引数 ... の最初に該当 (第 2 引数)
    printf("%d\n", args[2]);      // 引数 ... の 2 番に該当 (第 3 引数)
```

4.5.8 _add32 関数

TaC で 32 ビットの計算を行うための関数です。計算の対象は int 配列で上位 [0], 下位 [1] の順に表現した符号なし 32 ビットデータです。引数の dst, src が 32 ビットデータを表現する int 配列です。dst = dst + src を計算します。_add32 関数が返す値は dst 配列の参照です。

```
#include <crt0.hmm>
public int[] _add32(int[] dst, int[] src);
```

次に使用例を示します。a, b 配列が 32 ビットデータを表します。この例は _add32 関数が dst の参照を返すことを利用しています。

```
int[] a = {12345, 6789}:
int[] b = {23456, 7890}:
...
_add32(_add32(a, b), b); // a = a + b + b;
```

4.5.9 _sub32 関数

TaC で 32 ビットの計算を行うための関数です。 $dst = dst - src$ を計算します。 _sub32 関数が返す値は dst 配列の参照です。

```
#include <crt0.hmm>
public int[] _sub32(int[] dst, int[] src);
```

4.5.10 _div32 関数

TaC で 32 ビットの計算を行うための関数です。 $dst = dst / src$ を計算します。 _div32 関数が返す値は dst 配列の参照です。

```
#include <crt0.hmm>
public int[] _div32(int[] dst, int[] src);
```

4.5.11 _mod32 関数

TaC で 32 ビットの計算を行うための関数です。 dst を src で割った余りを返します。上記の 3 つの関数と異なり関数の返り値と src が int 型、 dst の値は変化しないことに気を付けて下さい。

```
#include <crt0.hmm>
public int _mod32(int[] dst, int src);
```

4.5.12 _in 関数

TaC の I/O ポートをアクセスする関数です。 I/O 特権モードのアプリケーションプログラムだけが使用できます。 I/O 空間の p 番地からワード（16 ビット）のデータを入力します。

```
#include <crt0.hmm>
public int _in(int p);
```

4.5.13 _out 関数

TaC の I/O ポートをアクセスする関数です。 I/O 特権モードのアプリケーションプログラムだけが使用できます。 I/O 空間の p 番地に v のワード（16 ビット）データを出力します。

```
#include <crt0.hmm>
public void _out(int p, int v);
```

第5章 システムコール

TacOS のシステムコールを呼び出す関数です。トランスレータ版では使用できません。`#include <syslib.hmm>`と書いた後で使います。

5.1 プロセス関連

TacOS では、`exec` で新しいプロセスを作ると同時に新しいプログラムを実行します。UNIX の `fork-exec` 方式とは異なります。

5.1.1 `exec`

`path` でプログラムファイルを指定し、新しいプロセスで新しいプログラムの実行を開始します。`argv` は、開始するプログラムの `main` 関数の第2引数 (`char[] []argv`) に渡される文字列配列です。`exec` は正常なら 0、エラー発生なら負のエラー番号を返します。

```
#include <syslib.hmm>
public int exec(char[] path, void[] argv);
```

`argv[0]` にプログラム名、`argv[1]` に第1引数のように格納します。最後に `null` を格納します。次に使用例を示します。

```
char[] [] args = {"prog", "param1", "param2", null};
void f() {
    exec("/bin/prog.exe", args);
}
```

子プロセス側は次のようなプログラムになります。

```
int main(int argc, char[] []argv) {
    int c = argc;          // 前のプログラムで起動されたとき 3
    char[] s = argv[1];    // 前のプログラムで起動されたとき "param1"
    return 0;
}
```

5.1.2 _exit

_exit はプログラム（プロセス）を終了します。_exit は入出力のバッファをフラッシュしません。_exit は緊急終了用に使用し、普通は標準ライブラリの exit を使用します。

status は、親プロセスに返す終了コードです。0 が正常終了の意味、1 以上はユーザが決めた終了コード、負の値は表 4.1 に示す記号名で定義されています。負の値を返すと親プロセスがシェルの場合、シェル側でエラーメッセージを表示してくれます。

```
#include <syslib.hmm>
public void _exit(int status);
```

5.1.3 wait

wait は子プロセスの終了を待ちます。stat には大きさ 1 の int 配列を渡します。子プロセスが終了した際、stat[0] に終了コードが書き込まれます。wait は正常なら 0、エラー発生なら負のエラー番号を返します。

```
#include <syslib.hmm>
public int wait(int[] stat);
```

5.1.4 sleep

sleep はプロセスを指定された時間だけ停止します。ms はミリ秒単位で停止時間を指定します。ms に負の値を指定すると EINVAL エラーになります。それ以外では、sleep は 0 を返します。

```
#include <syslib.hmm>
public int sleep(int ms);
```

5.2 ファイル操作

TacOS は、マイクロ SD カードの FAT16 ファイルシステムを扱うことができます。VFAT には対応していません。

5.2.1 creat

creat は新規ファイルを作成します。path は新しいファイルのパスです。creat は正常なら 0、エラー発生なら負のエラー番号を返します。

```
#include <syslib.hmm>
public int creat(char[] path);
```

5.2.2 remove

`remove` はファイルを削除します。 `path` は削除するファイルのパスです。 `remove` は正常なら 0, エラー発生なら負のエラー番号を返します。

```
#include <syslib.hmm>
public int remove(char[] path);
```

5.2.3 mkDir

`mkDir` は新規のディレクトリを作成します。 `path` は新しいディレクトリのパスです。 `mkDir` は正常なら 0, エラー発生なら負のエラー番号を返します。

```
#include <syslib.hmm>
public int mkDir(char[] path);
```

5.2.4 rmDir

`rmDir` はディレクトリを削除します。 `path` は削除するディレクトリのパスです。 `rmDir` は正常なら 0, エラー発生なら負のエラー番号を返します。 削除するディレクトリが空でない場合はエラーになります。

```
#include <syslib.hmm>
public int rmDir(char[] path);
```

5.3 ファイルの読み書き

ファイルの読み書きには、通常は [33](#) ページの標準入出力ライブラリ関数を用います。以下のシステムコールは、主にライブラリ関数の内部で使用されます。

5.3.1 open

`open` はファイルを開きます `path` は開くファイルのパスです。 `mode` には `READ`, `WRITE`, `APPEND` のいずれかを指定します。 `open` は正常なら非負のファイル記述子, エラー発生なら負のエラー番号を返します。 ファイルが存在しない場合は、どのモードでもエラーになります。 新規ファイルに書き込みたい場合は、事前に `creat` システムコールを用いてファイルを作成しておく必要があります。

`open` はディレクトリを `READ` モードで開くことができます。 ディレクトリは [37](#) ページの `readDir` 関数で読みます。

```
#include <syslib.hmm>
public int open(char[] path, int mode);
```

5.3.2 close

`close` は `open` で開いたファイルを閉じます。 `fd` は閉じるファイルのファイル記述子です。 `close` は正常なら 0, エラー発生なら負のエラー番号を返します。

```
#include <syslib.hmm>
public int close(int fd);
```

5.3.3 read

`read` は `open` を用い `READ` モードで開いたファイルからデータを読みます。 `fd` はファイル記述子です。 `buf` はデータを読み込むバッファ、 `len` はバッファサイズ (バイト単位) です。 `read` は正常なら読み込んだバイト数, エラー発生なら負のエラー番号を返します。 `EOF` では 0 を返します。

```
#include <syslib.hmm>
public int read(int fd, void[] buf, int len);
```

5.3.4 write

`write` は `open` を用い `WRITE`, `APPEND` モードで開いたファイルへデータを書き込みます。 `fd` はファイル記述子です。 `buf` は書き込むデータが置いてあるバッファ、 `len` は書き込むデータのサイズ (バイト単位) です。 `write` は正常なら書き込んだバイト数, エラー発生なら負のエラー番号を返します。

```
#include <syslib.hmm>
public int write(int fd, void[] buf, int len);
```

5.3.5 seek

`seek` は `open` を用い開いたファイルの読み書き位置を変更します。 `fd` はファイル記述子です。 `seek` 位置は, 上位 16bit (`ptrh`) と下位 16bit (`ptrl`) を組み合わせて指定します。 `seek` は正常なら 0, エラー発生なら負のエラー番号を返します。

```
#include <syslib.hmm>
public int seek(int fd, int ptrh, int ptrl);
```

5.4 コンソール関連

コンソール入出力には、通常は 33 ページの標準入出力ライブラリ関数を用います。以下のシステムコールは、主にライブラリ関数の内部で使用されます。ttyRead はライブラリ関数が stdin からの読み込みをする場合に、ttyWrite はライブラリ関数が stdout, stderr への書き込みをする場合にライブラリ関数内部で使用されます。

5.4.1 ttyRead

ttyRead はキーボードから 1 行入力します。読み込んだ内容は buf で指定されるバッファに格納されます。len は buf のバイト数です。読み込んだ内容の最後に '\0' は含まれませんが '\n' は含まれます。ttyRead はキーボードから入力した文字数を返します。

```
#include <syslib.hmm>
public int ttyRead(char[] buf, int len);
```

5.4.2 ttyWrite

ttyWrite は buf の内容を画面に出力します。

```
#include <syslib.hmm>
public int ttyWrite(char[] buf, int len);
```

5.4.3 ttyCtl

ttyCtl はコンソールのモードを操作します。

```
#include <syslib.hmm>
public int ttyCtl(int cmd, int mode);
```

cmd には TTYCTL_GETMODE, TTYCTL_SETMODE のどちらかを指定します。TTYCTL_GETMODE を指定した場合、ttyCtl は現在のモードを返します。TTYCTL_SETMODE を指定した場合、ttyCtl はモードを mode に変更します。ttyCtl の返り値と mode では、モードを TTYCTL_MODE_COOKED と TTYCTL_MODE_ECHO のビットマップで表現します。

TTYCTL_MODE_COOKED は通常 ON になっています。このモードが ON になっている場合、コンソール入出力で '\r' と '\n' の間で適切な変換が行われます。また、'\b' (バックスペースキー) を用いた行編集ができます。

TTYCTL_MODE_ECHO も通常 ON になっています。このモードが ON になっている場合、キーボードから入力した文字が画面にエコーバックされます。以下にプログラム例を示します。

```
int mode = ttyCtl(TTYCTL_GETMODE, 0);          // 現在のモードを取得
int noechoMode = mode & ~TTYCTL_MODE_ECHO;
ttyCtl(TTYCTL_SETMODE, noechoMode);            // NOECHO モードに変更
...
ttyCtl(TTYCTL_SETMODE, mode);                  // 最初の状態に戻す
```


付 録 A C--言語文法まとめ

以下に，C--言語の文法をBNF風にまとめたものを掲載します．メタ文字の意味は下表の通りです．文法に掲載しませんが次の2種類のコメントが使用できます．

コメント： `/* ... */` または `// ...`

表記	意味
<code>A ※</code>	A のゼロ回以上の繰り返し
<code>《...》</code>	グループ
<code>【...】</code>	省略可能
<code>A B</code>	A または B

プログラム： 《 構造体宣言 | 大域変数宣言 | 関数定義 | 関数宣言 》※
 構造体宣言： struct 名前 { 《 型 名前 《 , 名前 》※ ; 》※ } ;
 だまし型宣言： typedef 名前 ;
 大域変数宣言： 【 public 】 型 名前 【 = 初期化 】
 《 , 名前 【 = 初期化 】 》※ ;
 関数定義： 【 public 】 型 名前 (引数リスト) ブロック
 関数宣言： 【 public 】 型 名前 (引数リスト) ;
 初期化： 定数式 | { 初期化 《 , 初期化 》※ } | array(数値 《 , 数値 》※)
 引数リスト： 【 型 名前 《 , 型 名前 》※ 【 , ... 】 】 | ...
 ブロック： { 《 局所変数宣言 | 文 》※ }
 局所変数宣言： 型 名前 【 = 代入式 】《 , 名前 【 = 代入式 】 》※ ;
 文： IF 文 | WHILE 文 | DO-WHILE 文 | FOR 文 | RETURN 文 |
 BREAK 文 | CONTINUE 文 | ブロック | 式 ; | ;
 IF 文： if (式) 文 【 else 文 】
 WHILE 文： while (式) 文
 DO-WHILE 文： do 文 while (式) ;
 FOR 文： for(【 式 | 局所変数定義 】 ; 【 式 】 ; 【 式 】) 文
 RETURN 文： return 【 式 】 ;
 BREAK 文： break;
 CONTINUE 文： continue;
 式： 代入式 《 , 代入式 》※
 代入式： 論理 OR 式 《 = 論理 OR 式 》※
 論理 OR 式： 論理 AND 式 《 || 論理 AND 式 》※
 論理 AND 式： OR 式 《 && OR 式 》※
 OR 式： XOR 式 《 | XOR 式 》※
 XOR 式： AND 式 《 ^ AND 式 》※
 AND 式： 等式 《 & 等式 》※
 等式： 比較式 《 <= | != 》 比較式 》※
 比較式： シフト式 《 < | <= | > | >= 》 シフト式 》※
 シフト式： 和式 《 << | >> 》 和式 》※
 和式： 積式 《 + | - 》 積式 》※
 積式： 単項式 《 * | / | % 》 単項式 》※
 単項式： 《 + | - | ! | ~ 》※ 因子
 因子： 名前 | 定数 | 関数呼出 | (式) | 因子 [代入式] |
 因子. 名前 | sizeof(型) | offsetof(名前) |
 chr(式) | ord(式) | bool(式)
 関数呼出： 名前 (【 代入式 《 , 代入式 》※ 】)
 型： int | char | boolean | void | interrupt | 名前 | 型 □
 定数： 数値 | 文字定数 | 文字列 | null | true | false

付 録 B コマンドリファレンス

B.1 cm2e コマンド

C--プログラムを TaC で実行できる .exe ファイルに変換します。cm2e コマンドは、内部で「B.5 c--コマンド」や「Util--ユーティリティ」プログラムを自動的に呼び出すシェルスクリプトです。

形式： cm2e [-h] [-o exec] [-s ###] [-S] [-c] [-E] [-K] [-P]
[-nostdinc] [-I <dir>] [-c] [-Dxx=yy] <file>...

<file>... の各ファイルについて、プリプロセッサ (cpp), コンパイラ (c--), アセンブラ (as--) を順に呼び出し、リロケータブルオブジェクト (「Util--解説書」参照) に変換します。次に、リンカー (ld--) を用いリロケータブルオブジェクトを結合します。最後に、実行可能形式作成プログラム (objexe--) を呼び出し .exe ファイルを作成します。

cm2e は、指定されたファイルの拡張子からファイルの種類を判断し、必要な処理を自動的に実行します。拡張子「.cmm」は C--言語のソースプログラム, 「.s」は TaC のアセンブリ言語プログラム, 「.o」は TaC のリロケータブルオブジェクトと判断します。

以下のオプションが使用できます。

- h : 使用方法メッセージを表示します。
- o : 作成する .exe ファイルの名前を指定します。-o オプションの後ろに空白で区切ってファイル名を入力します。
- s : プログラムのスタック領域サイズをバイト単位で明示します。-s オプションの後ろに空白で区切ってサイズを 10 進数で入力します。スタックサイズを明示しない場合は、規定値の 600 が使用されます。
- S : アセンブラソースプログラム .s の作成まで行い、それより後の処理を行いません。
- c : リロケータブルオブジェクトファイル .o の作成まで行い、それより後の処理を行いません。
- E : プリプロセッサで処理した .cmm ファイルの内容を標準出力ストリームに書き出します。

- K : TacOS カーネル用モードでコンパイルを行います。コンパイル結果に、ユーザプログラム用のスタックオーバーフローチェック機能を埋め込みません。
- P : I/O 特権モードの .exe ファイルを作ります。TacOS の I/O 特権モードユーザプログラムは、IN, OUT 機械語命令を実行することができます。
- nostdinc : 標準のインクルードディレクトリを使用しません。
- I : インクルードディレクトリを追加します。このオプションを繰り返し使用することで複数のディレクトリを追加できます。
- D : このオプションは、そのままプリプロセッサに渡されます。次に使用例を示します。
\$ cm2e -DDEBUG=1 -o hello hello.cmm

B.2 cm2c コマンド

C--プログラムを C 言語プログラムに変換した後、C 言語プログラムをコンパイルして UNIX や macOS の実行形式を作成します。cm2c コマンドは、必要なプログラムを自動的に呼び出すシェルスクリプトです。

形式: cm2c [-h] [-o exec] [-S] [-c] [-E] [-nostdinc] [-rtc]
 [-nortc] [-I <dir>] [-Dxx=yy] <file>...

<file>... の各ファイルについて、プリプロセッサ (cpp), トランスレータ (c-c--または rtc-c--), C コンパイラドライバ (cc) を順に呼び出し、UNIX や macOS のリロケータブルオブジェクトに変換します。次に、C コンパイラドライバ (cc) を呼び出し、リロケータブルオブジェクトを結合し実行可能ファイルを作成します。

cm2c は、指定されたファイルの拡張子からファイルの種類を判断し、必要な処理を自動的に実行します。拡張子「.cmm」は C--言語のソースプログラム、「.c」は C 言語ソースプログラム、「.o」は UNIX や macOS のリロケータブルオブジェクトと判断します。

以下のオプションが使用できます。

- h : 使用方法メッセージを表示します。
- o : 作成する実行可能ファイルの名前を指定します。-o オプションの後ろに空白で区切ってファイル名を入力します。
- S : C 言語ソースプログラム .c の作成まで行い、それより後の処理を行いません。
- c : リロケータブルオブジェクトファイル .o の作成まで行い、それより後の処理を行いません。

- E : プリプロセッサで処理した.cmm ファイルの内容を標準出力ストリームに書き出します.
- nostdinc : 標準のインクルードディレクトリを使用しません.
- rtc : 実行時エラーチェックを行う実行形式を作成します. 実行時エラーチェックの内容は, null 参照の使用と配列の添字範囲チェックです. 実行時エラーチェックは実験的な実装です. 現在のところ malloc を用いた配列領域の確保と互換性はありません.
- nortc : 実行時エラーチェックを行わない実行形式を作成します. デフォルトが-nortc です.
- I : インクルードディレクトリを追加します. このオプションを繰り返し使用することで複数のディレクトリを追加できます.
- D : このオプションは, そのままプリプロセッサに渡されます.

B.3 cm2i コマンド

C--プログラムをコンパイルして中間言語に変換します. cm2i コマンドは, 内部で「B.9 ic-c--コマンド」を呼び出すシェルスクリプトです.

形式 : cm2i [-h] [-E] [-nostdinc] [-I <dir>] [-Dxx=yy] <file>...

<file>... の各ファイルについて, プリプロセッサ (cpp), コンパイラ (ic-c--) を順に呼び出し中間言語 (.i) を出力します. cm2i コマンドに指定できるファイルは, 拡張子「.cmm」の C--言語ソースプログラムだけです.

以下のオプションが使用できます.

- h : 使用方法メッセージを表示します.
- E : プリプロセッサで処理した.cmm ファイルの内容を標準出力ストリームに書き出します. それより後の処理を行いません.
- nostdinc : 標準のインクルードディレクトリを使用しません.
- I : インクルードディレクトリを追加します. このオプションを繰り返し使用することで複数のディレクトリを追加できます.
- D : このオプションは, そのままプリプロセッサに渡されます.

B.4 cm2v コマンド

C--プログラムをコンパイルして仮想スタックマシンのニーモニックに変換します. cm2v

コマンドは、内部で「[B.9 vm-c--コマンド](#)」を呼び出すシェルスクリプトです。

形式： cm2v [-h] [-E] [-nostdinc] [-I <dir>] [-Dxx=yy] <file>...

<file>... の各ファイルについて、プリプロセッサ (cpp), コンパイラ (vm-c--) を順に呼び出し仮想スタックマシンのニーモニック (.v) を出力します。cm2v コマンドに指定できるファイルは、拡張子「.cmm」の C--言語ソースプログラムだけです。

以下のオプションが使用できます。

- h : 使用方法メッセージを表示します。
- E : プリプロセッサで処理した.cmm ファイルの内容を標準出力ストリームに書き出します。それより後の処理を行いません。
- nostdinc : 標準のインクルードディレクトリを使用しません。
- I : インクルードディレクトリを追加します。このオプションを繰り返し使用することで複数のディレクトリを追加できます。
- D : このオプションは、そのままプリプロセッサに渡されます。

B.5 c--コマンド

C--言語の TaC 用コンパイラです。通常は cm2e から起動されユーザが直接使用することはありません。C--言語で記述されたプログラムを入力し、TaC アセンブリ言語で記述したプログラムに変換します。c--コマンドの書式は次の通りです。

形式： c-- [-h] [-v] [-O0] [-O] [-O1] [-K] [<source file>]

(注意：オプションは書式の順番で指定する必要があります。)

引数に C--言語のソースプログラムファイルを指定した場合は、指定されたファイルからソースプログラムを読み込みます。ファイルが省略された場合は標準入力ストリームからソースプログラムを読み込みます。どちらの場合もコンパイル結果は標準出力ストリームに出力します。ソースプログラムファイルの拡張子は「.cmm」にします。

-h, -v オプションは使用方法メッセージを表示します。-O0 オプションを指定すると、ソースコード中の定数式をコンパイル時に計算したり、実行されることがないプログラムの部分を削除したりする等の最適化をしません。-O, -O1 は最適化を促すオプションですが、デフォルトで ON になっているので指定する必要はありません。-K オプションを使うと、関数入口へのスタックオーバーフロー検出コードの埋め込みが抑制されます。TacOS のカーネルをコンパイルするときに使用するオプションです。

B.6 c-c--コマンド

c--プログラムをC言語に変換して出力するトランスレータです。通常は `cm2c` から起動されユーザが直接使用することはありません。

形式： `c-c-- [-h] [-v] [-00] [-0] [-01] [-K] [<source file>]`

(注意：オプションは書式の順番で指定する必要があります。)

引数の意味は c--コマンドと同様です。

B.7 rtc-c--コマンド

c--プログラムをC言語に変換して出力するトランスレータです。通常は `cm2c` から起動されユーザが直接使用することはありません。rtc-c--は c-c--と異なり、ユーザプログラムが `null` 参照を使用したり、範囲外の添字を用いて配列をアクセスしていないかチェックする実行時エラーチェック用のコードを出力に埋め込みます。

現在のところ実行時エラーチェックは実験的な実装です。array を用いて作成した静的な配列インスタンスには使用できますが、malloc を用いて作成した動的な配列インスタンスには使用できません。

形式： `rtc-c-- [-h] [-v] [-00] [-0] [-01] [-K] [<source file>]`

(注意：オプションは書式の順番で指定する必要があります。)

引数の意味は c--コマンドと同様です。

B.8 ic-c--コマンド

中間言語を出力する C--コンパイラです。通常は `cm2i` から起動されユーザが直接使用することはありません。

中間言語の仕様は、[65](#) ページに掲載してあります。コンパイラの仕組みを学習したいときに利用します。ic-c--コマンドの書式は次の通りです。

形式： `ic-c-- [-h] [-v] [-00] [-0] [-01] [-K] [<source file>]`

引数の意味は c--コマンドと同様です。

B.9 vm-c-- コマンド

仮想スタックマシンのニーモニックを出力する C--コンパイラです。通常は cm2v から起動されユーザが直接使用することはありません。

仮想スタックマシンのニーモニックは、コンパイラ内部で用いている中間言語（65 ページ参照）と、ほぼ一対一に対応します。中間言語や仮想スタックマシンを学習したいときに利用します。vm-c-- コマンドの書式は次の通りです。

形式： vm-c-- [-h] [-v] [-00] [-0] [-01] [-K] [<source file>]

引数の意味は c-- コマンドと同様です。

付 録 C 中間言語

C--コンパイラに入力された C--プログラムは、一旦、以下で説明する中間言語に変換されます。その後、中間言語から仮想のスタックマシンや TaC のニーモニックに変換されます。なお、C 言語トランスレータは構文木から直接 C 言語を生成するので、中間言語を用いません。

C.1 仮想スタックマシン

以下では中間言語を変換する先として仮想のスタックマシンを想定します。仮想スタックマシンの命令は、中間言語から、ほぼ、一対一に変換できます。仮想スタックマシンは、次のようなものです。

- 仮想スタックマシンが扱うデータは、基本的にワードデータ (16bit) です。C--言語の `int` 型、参照 (アドレス) はワードデータにピッタリ格納されます。char 型はワードデータの下位 8bit、boolean 型はワードデータの下位の 1bit に格納されます。
- char 型と boolean 型の**配列要素だけ**、メモリ節約のためバイトデータ (8bit) です。LDB 命令、STB 命令がバイト配列のデータをアクセスします。
- 仮想スタックマシンのプログラムは次の書式のニーモニックで記述します。

[ラベル] [命令 [オペランド [, オペランド] ...]]

C.2 書式

中間言語は次のような命令行で表現されます。

命令 ([オペランド [, オペランド] ...])

例: `vmLdCns(3)` // 定数 3 をスタックに積む

C.3 命令

中間言語の命令には「ラベル生成命令」、「マシン命令」、「マクロ命令」、「擬似命令」があります。

C.3.1 ラベル生成命令

プログラムのジャンプ先やデータのためにラベルを生成します.

vmNam

名前を表現するラベルを宣言します. 名前表の `idx` 番目に登録されている名前をラベルとして定義するニーモニックを出力します. ラベルの先頭には `'.'` または `'_'` が付加されます. C--言語で `public` 修飾された名前に `'_'` が付加されます.

中 間 言 語 : `vmNam(idx)`
 ニーモニック : ラベル

変換例: `vmNam(3) => .a` // 名前表の 3 番目に `a` があった場合

vmLab

コンパイラが自動的に生成した番号で管理されるラベルを出力します. このラベルは C--プログラムソースには存在しない名前です. 整数 `n` で区別できるラベル `ln` をニーモニックに出力します.

中 間 言 語 : `vmLab(n)`
 ニーモニック : `ln`

変換例: `vmLab(3) => .L3`

C.3.2 マシン命令

スタックマシンの命令や TaC の機械語命令に変換されるべき, 中間言語命令です.

vmEntry

関数の入口処理をする命令です. `idx` は名前表で関数名が登録されている位置です. `n` は関数の中で「同時に使用されるローカル変数の数」です. `vmEntry` は, `n` 個のローカル変数領域を確保します. 関数内でスコープが切り替わり同じ領域が複数のローカル変数で共用できる場合があるので, 「同時に使用されるローカル変数の数」が指定されます.

中 間 言 語 : `vmEntry(n,idx)`
 ニーモニック : ラベル ENTRY `n`

変換例: `vmEntry(1,3) => .a ENTRY 1` // 名前表の 3 番目に `a` があった場合

vmEntryK

カーネル関数の入口処理をする命令です。引数の意味は `vmEntry` と同じです。C++コンパイラに `-K` オプションを付けて実行した場合は、`vmEntry` のかわりに `vmEntryK` が使用されます。

中間言語 : `vmEntryK(n,idx)`
ニーモニック : ラベル `ENTRYK n`

変換例 : `vmEntryK(1,3) => .a ENTRYK 1 // 名前表の3番目にaがあった場合`

vmRet

関数の出口処理をする命令です。ローカル変数を捨てて関数から戻ります。通常関数、カーネル関数で共通に使用します。

中間言語 : `vmRet()`
ニーモニック : `RET`

変換例 : `vmRet() => RET`

vmEntryI

`interrupt` 型関数の入口処理をする命令です。引数の意味は `vmEntry` と同じです。

中間言語 : `vmEntryI(n,idx)`
ニーモニック : ラベル `ENTRYI n`

変換例 : `vmEntryI(1,3) => .a ENTRYI 1 // 名前表の3番目にaがあった場合`

vmRetI

`interrupt` 関数の出口処理をする命令です。ローカル変数を捨てて `interrupt` 型関数から戻ります。

中間言語 : `vmRetI()`
ニーモニック : `RETI`

vmMReg

スタックから関数の返り値を取り出し，返り値用のハードウェアレジスタに移動します．

中 間 言 語 : vmMReg()
ニーモニック : MREG

vmArg

関数を呼出す前に，関数に渡す引数を準備します．スタックから値を取り出し引数領域にコピーします．複数の引数がある場合は，最後の引数から順に処理します．

中 間 言 語 : vmArg()
ニーモニック : ARG

以下に二つの引数を持つ関数 *f* を呼び出す例を示します．

```
// C-- ソース
void f(int a, int b) { ... }
void g() { f(1, 2); }

// 関数 g の中間コード
vmEntry(0,5) // 名前表の 5 番目に g があるとする
vmLdCns(2)
vmArg()
vmLdCns(1)
vmArg()
vmCallP(2,4) // 名前表の 4 番目に f があるとする
vmRet()

// 関数 g のニーモニック
.g
    ENTRY    0
    LDC      2
    ARG
    LDC      1
    ARG
    CALLP    2, .f
    RET
```

vmCallP

値を返さない関数を呼び出します. `n` は関数引数の個数, `idx` は名前表で関数名が登録されている位置です.

中間言語 : `vmCallP(n,idx)`
ニーモニック : `CALLP n, ラベル`

変換例 : `vmCallP(2, 4) => CALLP 2,.f` // 名前表の4番目に `f` があるとする

vmCallF

値を返す関数を呼び出します. `n` と `idx` の意味は `vmCallP` と同じです. `vmCallF` は関数の実行が終了した時, 返り値をハードウェアレジスタから取り出しスタックに積みます.

中間言語 : `vmCallF(n,idx)`
ニーモニック : `CALLF n, ラベル`

変換例 : `vmCallF(2, 4) => CALLF 2,.f` // 名前表の4番目に `f` があるとする

vmJump

無条件ジャンプ命令です. 整数 `n` はジャンプ先ラベルの番号を表します. ラベル `ln` は `vmLab` で出力される `n` 番目のラベルです.

中間言語 : `vmJump(n)`
ニーモニック : `JMP ln`

変換例 : `vmJump(3) => JMP .L3`

vmJT

スタックから論理値を取り出し `true` ならジャンプします. `n`, `ln` の意味は `vmJump` と同じです.

中間言語 : `vmJT(n)`
ニーモニック : `JT ln`

変換例 : `vmJT(3) => JT .L3`

vmJF

スタックから論理値を取り出し `false` ならジャンプします. `n`, `ln` の意味は `vmJmp` と同じです.

中 間 言 語 : `vmJF(n)`
ニーモニック : `JF ln`

変換例 : `vmJF(3) => JF .L3`

vmLdCns

定数 `c` をスタックに積みます.

中 間 言 語 : `vmLdCns(c)`
ニーモニック : `LDC c`

変換例 : `vmLdCns(3) => LDC 3`

vmLdGlb

グローバル変数の値をスタックに積みます. `idx` は名前表で変数名が登録されている位置です.

中 間 言 語 : `vmLdGlb(idx)`
ニーモニック : `LDG ラベル`

変換例 : `vmLdGlb(3) => LDG .a // 名前表の 3 番目に a があった場合`

vmLdLoc

`n` 番目のローカル変数の値をスタックに積みます. ローカル変数の番号は 1 から始まります.

中 間 言 語 : `vmLdLoc(n)`
ニーモニック : `LDL n`

変換例 : `vmLdLoc(3) => LDL 3`

vmLdPrm

現在の関数の n 番目の引数の値をスタックに積みます。引数の番号は第 1 引数から順に、1 以上の番号が割り振られます。

中間言語 : `vmLdPrm(n)`
ニーモニック : `LDP n`

変換例 : `vmLdPrm(3) => LDP 3`

vmLdLab

ラベルの参照 (アドレス) をスタックに積みます。整数 n はラベルの番号を表します。ラベル `ln` は `vmLab` で出力される n 番目のラベルです。

中間言語 : `vmLdLab(n)`
ニーモニック : `LDC ln`

変換例 : `vmLdLab(3) => LDC .L3`

vmLdNam

名前の参照 (アドレス) をスタックに積みます。`idx` は名前表でラベルが登録されている位置です。

中間言語 : `vmLdNam(idx)`
ニーモニック : `LDC ラベル`

変換例 : `vmLdNam(3) => LDC .a` // 名前表の 3 番目に `a` があつた場合

vmLdWrd

ワード配列の要素を読み出すための命令です。まずスタックから、添字、ワード配列のアドレスの順に取り出します。次にワード配列の要素の内容をスタックに積みます。

中間言語 : `vmLdWrd()`
ニーモニック : `LDW`

vmLdByt

バイト配列の要素を読み出すための命令です。まずスタックから、添字、バイト配列のアドレスの順に取り出します。次にバイト配列の要素の内容をワードに変換してスタックに積みます。変換はバイトデータの上位に 0 のビットを付け加えることで行います。

中 間 言 語 : vmLdByt()
ニーモニック : LDB

vmStGlb

スタックトップの値をグローバル変数にストアします。idx は名前表で変数名が登録されている位置です。スタックをポップしません。

中 間 言 語 : vmStGlb(idx)
ニーモニック : STG ラベル

変換例 : vmStGlb(3) => STG .a // 名前表の 3 番目に a があつた場合

vmStLoc

スタックトップの値を n 番目のローカル変数にストアします。スタックをポップしません。

中 間 言 語 : vmStLoc(n)
ニーモニック : STL n

変換例 : vmStLoc(3) => STL 3

vmStPrm

スタックトップの値を n 番目の引数にストアします。スタックをポップしません。

中 間 言 語 : vmStPrm(n)
ニーモニック : STP n

変換例 : vmStPrm(3) => STP 3

vmStWrd

ワード配列の要素を書き換える命令です。まずスタックから、添字、ワード配列のアドレスの順に取り出します。次にスタックトップの値をワード配列の要素に書き込みます。後半ではスタックをポップしません。

中間言語 : `vmStWrd()`

ニーモニック : `STW`

vmStByt

バイト配列の要素を書き換える命令です。まずスタックから、添字、バイト配列のアドレスの順に取り出します。次にスタックトップの値をバイトデータに変換して配列に書き込みます。後半ではスタックをポップしません。変換はワードデータの下位 8bit を取り出すことで行います。

中間言語 : `vmStByt()`

ニーモニック : `STB`

vmNeg

まず、スタックから整数を取り出し 2 の補数を計算します。次に、計算結果をスタックに積みます。

中間言語 : `vmNeg()`

ニーモニック : `NEG`

vmNot

まず、スタックから論理値を取り出し否定を計算します。次に、計算結果をスタックに積みます。

中間言語 : `vmNot()`

ニーモニック : `NOT`

vmBNot

まず、スタックから整数を取り出し 1 の補数を計算します。次に、計算結果をスタックに積みます。

中間言語 : `vmBNot()`

ニーモニック : `BNOT`

vmChr

まず、スタックから整数を取り出し下位 8bit だけ残しマスクします。次に、計算結果をスタックに積みます。

中 間 言 語 : vmChr()
ニーモニック : CHR

vmBool

まず、スタックから整数を取り出し最下位ビットだけ残しマスクします。次に、計算結果をスタックに積みます。

中 間 言 語 : vmBool()
ニーモニック : BOOL

vmAdd

まず、スタックから整数を二つ取り出し和を計算します。次に、計算結果をスタックに積みます。

中 間 言 語 : vmAdd()
ニーモニック : ADD

vmSub

まず、スタックから整数を一つ取り出し x とします。次に、スタックから整数をもう一つ取り出し y とします。最後に、スタックに $x - y$ を積みます。

中 間 言 語 : vmSub()
ニーモニック : SUB

vmShl

まず、スタックからシフトするビット数、シフトされるデータの順に取り出します。次に、左シフトを計算します。最後に、計算結果をスタックに積みます。

中 間 言 語 : vmShl()
ニーモニック : SHL

vmShr

まず、スタックからシフトするビット数、シフトされるデータの順に取り出します。次に、**算術**右シフトを計算します。最後に、計算結果をスタックに積みます。

中間言語 : vmShr()
ニーモニック : SHR

vmBAnd

まず、スタックから整数を二つ取り出しビット毎の論理積を計算します。次に、計算結果をスタックに積みます。

中間言語 : vmBAnd()
ニーモニック : BAND

vmBXor

まず、スタックから整数を二つ取り出しビット毎の排他的論理和を計算します。次に、計算結果をスタックに積みます。

中間言語 : vmBXor()
ニーモニック : BXOR

vmBOr

まず、スタックから整数を二つ取り出しビット毎の論理和を計算します。次に、計算結果をスタックに積みます。

中間言語 : vmBOr()
ニーモニック : BOR

vmMul

まず、スタックから整数を二つ取り出し積を計算します。次に、計算結果をスタックに積みます。

中間言語 : vmMul()
ニーモニック : MUL

vmDiv

まず、スタックから整数を一つ取り出し x とします。次に、スタックから整数をもう一つ取り出し y とします。最後に、スタックに $x \div y$ を積みます。

中 間 言 語 : vmDiv()

ニーモニック : DIV

vmMod

まず、スタックから整数を一つ取り出し x とします。次に、スタックから整数をもう一つ取り出し y とします。最後に、スタックに x を y で割った余りを積みます。

中 間 言 語 : vmMod()

ニーモニック : MOD

vmGt

まず、スタックから整数を一つ取り出し x とします。次に、スタックから整数をもう一つ取り出し y とします。最後に、比較 ($x > y$) の結果 (論理値) をスタックに積みます。

中 間 言 語 : vmGt()

ニーモニック : GT

vmGe

まず、スタックから整数を一つ取り出し x とします。次に、スタックから整数をもう一つ取り出し y とします。最後に、比較 ($x \geq y$) の結果 (論理値) をスタックに積みます。

中 間 言 語 : vmGe()

ニーモニック : GE

vmLt

まず、スタックから整数を一つ取り出し x とします。次に、スタックから整数をもう一つ取り出し y とします。最後に、比較 ($x < y$) の結果 (論理値) をスタックに積みます。

中 間 言 語 : vmLt()

ニーモニック : LT

vmLe

まず、スタックから整数を一つ取り出し x とします。次に、スタックから整数をもう一つ取り出し y とします。最後に、比較 ($x \leq y$) の結果 (論理値) をスタックに積みます。

中間言語 : `vmLe()`

ニーモニック : `LE`

vmEq

まず、スタックから整数を一つ取り出し x とします。次に、スタックから整数をもう一つ取り出し y とします。最後に、比較 ($x = y$) の結果 (論理値) をスタックに積みます。

中間言語 : `vmEq()`

ニーモニック : `EQ`

vmNe

まず、スタックから整数を一つ取り出し x とします。次に、スタックから整数をもう一つ取り出し y とします。最後に、比較 ($x \neq y$) の結果 (論理値) をスタックに積みます。

中間言語 : `vmNe()`

ニーモニック : `NE`

vmPop

スタックから値を一つ取り出し捨てます。

中間言語 : `vmPop()`

ニーモニック : `POP`

C.3.3 マクロ命令

コード生成にヒントを与えるために、ニーモニックに対応するレベルまで展開しないで、マクロ命令として中間コードを出力する場合があります。

vmBoolOR

論理 OR 式の最後で計算結果の論理値をスタックに積むマクロ命令です。整数 `n1`, `n2`, `n3` はラベルの番号を表します。論理式の途中から `true`, `false` が定まった時点でマクロ

を展開したニーモニック中の $n1$, $n2$ ラベルにジャンプしてきます. $n2$ が -1 の場合は短く展開されます.

中 間 言 語 : `vmBool10R($n1$, $n2$, $n3$)`
 ニーモニック: 以下のように展開されます

<code>vmBool10R(1, 2, 3)</code>				<code>vmBool10R(1, -1, 3)</code>		
-----			+	-----		
	JMP	.L3			JMP	.L3
.L1				.L1		
	LDC	1			LDC	1
	JMP	.L3		.L3		
.L2						
	LDC	0				
.L3						

vmBoolAND

論理 AND 式の最後で計算結果の論理値をスタックに積むマクロ命令です.

中 間 言 語 : `vmBoolAND($n1$, $n2$, $n3$)`
 ニーモニック: 以下のように展開されます

<code>vmBoolAND(1, 2, 3)</code>				<code>vmBoolAND(1, -1, 3)</code>		
-----			+	-----		
	JMP	.L3			JMP	.L3
.L1				.L1		
	LDC	0			LDC	0
	JMP	.L3		.L3		
.L2						
	LDC	1				
.L3						

C.3.4 擬似命令

データ生成用の擬似命令です.

vmDwName

名前へのポインタを生成します. `idx` は名前表で名前が登録されている位置です.

中間言語 : `vmDwName(idx)`
ニーモニック : `DW ラベル`

変換例 : `vmDwName(3) => DW .a` // 名前表の3番目に `a` があった場合

vmDwLab

`vmLab` で出力されるラベルへのポインタを生成します。整数 `n` はラベルの番号を表します。ラベル `ln` は `vmLab` で出力される `n` 番目のラベルです。

中間言語 : `vmDwLab(n)`
ニーモニック : `DW ln`

変換例 : `vmDwLab(3) => DW .L3`

vmDwCns

ワードデータを生成します。整数 `c` は生成するデータの値です。

中間言語 : `vmDwCns(c)`
ニーモニック : `DW c`

変換例 : `vmDwCns(3) => DW 3`

vmDbCns

バイトデータを生成します。整数 `c` は生成するデータの値です。`vmDbCns` はバイト配列の初期化で 사용됩니다。

中間言語 : `vmDbCns(c)`
ニーモニック : `DB c`

変換例 : `vmDbCns(3) => DB 3`

vmWs

ワードデータ領域（配列）を生成します。整数 `n` は生成するワードの数です。

中間言語 : `vmWs(n)`
ニーモニック : `WS n`

変換例 : `vmWs(3) => WS 3`

vmBs

バイトデータ領域（配列）を生成します。整数 `n` は生成するバイトの数です。

中 間 言 語 : `vmBs(n)`

ニーモニック : `BS n`

変換例 : `vmWs(3)` => `BS 3`

vmStr

文字列を生成します。 `str` は文字列です。

中 間 言 語 : `vmStr(str)`

ニーモニック : `STRING str`

変換例 : `vmStr("hello\n")` => `STRING "hello\n"`

変更履歴

2019 年 10 月 18 日 v.3.2.1 conRead/Write を ttyRead/Write に変更, ttyCtl を追加
2019 年 03 月 24 日 v.3.2.0 トランスレータ版に実行時エラーチェックを試験的に導入
2019 年 01 月 27 日 v.3.1.12 メモリ保護違反, I/O 特権モード, in(), out(), htoi() 追記
2018 年 11 月 18 日 V.3.1.11 fsize、fseek、printf(“%ld”), 32 ビット演算を追記
2018 年 01 月 27 日 V.3.1.10 ドライバの -nostdinc -I オプションを追記
2016 年 10 月 09 日 V.3.1.7 cm2i の記述を追加、文法まとめを改良
2016 年 09 月 18 日 V.3.1.6 中間言語の仕様を変更
2016 年 09 月 10 日 V.3.1.2a 文字列クラス分類関数にトランスレータの場合を追記
2016 年 08 月 13 日 C--V.3.1.2 用 (feof の仕様変更)
2016 年 06 月 03 日 C--V.3.1.0 用作成
2016 年 03 月 15 日 C--V.3.0.0 用作成

対応ソフトウェアのバージョン

C--	Ver.3.2.1
Util--	Ver.3.0.3
TacOS	Ver.3.1.0

プログラミング言語 C--

発行年月 2019 年 10 月 Ver. 3.2.1
著 者 重村 哲至
発 行 独立行政法人国立高等専門学校機構
徳山工業高等専門学校
情報電子工学科
〒745-8585 山口県周南市学園台
sigemura@tokuyama.ac.jp