コンパイラ（2014年度）・期末テスト問題用紙

（2014年07月31日（木）・ 10:30 〜 12:00）

（問題訂正適用済み）

訂正は赤字

解答上、その他の注意事項

I. 問題は、問I〜VIまである。

II. 解答用紙の右上の欄に学籍番号・名前を記入すること。

III. 解答欄を間違えないよう注意すること。

IV. 解答中の文字（特にaとd）がはっきりと区別できるよう注意すること。

V. 持ち込みは不可である。筆記用具・時計・学生証以外のものは、かばんの中などにしまうこと。

VI. 期末テストの配点は80点である。合格はレポートの得点を加点して、100点満点中60点以上とする。

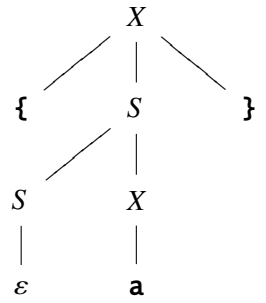
I. （Backus-Naur 記法）

次のような BNF で表される文法を考える。

$$
\begin{array}{rcl}
X & \rightarrow & \text{“\{” } S \text{ “\}”} \\
 & | & \text{“a”} \\
S & \rightarrow & S\ X \\
 & | & \varepsilon
\end{array}
$$

ただし、X, S は非終端記号、“**{**”, “**}**”, “**a**” は終端記号である。次の各記号列について、上の BNF の非終端記号 X から導出されるものには、その解析木 (parse tree) を右の例にならって書き、導出されないものには **✗** を記せ。（解析木は一通りとは限らないが、そのうち一つを書けば良い。）

例: `{a}`に対する解析木



(1) `{aaa}`　　(2) `{a{}}`　　(3) `{{a}a}`　　(4) `{}{}`

II. （正規表現）

以下の文字列について、
「`(xy|yx)*(x|`ε`)`」という正規表現に **(一部でなく) 全体が**マッチする文字列には (L) を、
「`(xyx|yxy)*(y|`ε`)`」という正規表現に **(一部でなく) 全体が**マッチする文字列には (R) を、
両方に全体がマッチする文字列には (B) を、
どちらにも全体がマッチしない文字列には (N) を記せ。

(1) `xyxyxyxyy`　　(2) `xyxyxyyxy`　　(3) `xyxyxxyxy`　　(4) `xyxyxyxyx`

III. （コンパイラのフェーズ）

コンパイラは、字句（単語）を切り分ける字句解析フェーズ、プログラムの構造を木の形に表す構文解析フェーズ、変数の宣言や型のチェックを行なう意味解析（静的解析）フェーズ、目的のコードを生成するコード生成フェーズなどに概念的に分けることができる。

次の (1)〜(4) の C 言語のプログラムにはそれぞれ誤りがある。コンパイラのどのフェーズで誤りが検出されるか？（あるいはされないか？） もっとも適当なものを下の選択肢 (A)〜(E) から選べ。なお、(1)〜(4) のいずれも単独でコンパイルされ、標準ライブラリとのみリンクされるものとする。（つまり、他のファイルに変数や関数が定義されていることはない。）

(1) （文字列リテラルの終わりを示す「"」を忘れた。）

```
#include <stdio.h>

int main(void) {
    printf("Hello! World\n);
    return 0;
}
```

(2) （printf 関数の引数の順番を間違えた。）

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>

int main(void) {
    printf(sin(0), "sin(0) = %f\n");
    return 0;
}
```

(3) （ブロックの波括弧 “{”〜“}” の代わりに角括弧 “[”〜“]” を使った。）

```
#include <stdio.h>

int main(void) [
    int i;
    for (i=0; i<10; i++) [
        printf("Hello World!\n");
    ]
]
```

(4) （文の終わりのセミコロン “;” を忘れた。）

```
#include <stdio.h>

int main(void) {
    printf("Hello! World\n")
    return 0
}
```

(1)〜(4) の選択肢

(A) 字句解析フェーズでエラーが検出される。

(B) 構文解析フェーズでエラーが検出される。

(C) 意味解析フェーズでエラーが検出される。

(D) コード生成フェーズでエラーが検出される。

(E) 実行時にエラーとなるか、全くエラーにならない（が作成者の意図と異なる動作をする）。

IV. （演算子順位法）

次の BNF で表される文法を演算子順位法により構文解析する。

$$E \rightarrow \quad \textbf{id} \;\mid\; E \text{ “==” } E \;\mid\; E \text{ “\&\&” } E \;\mid\; E \text{ “>>” } E \;\mid\; \text{“(” } E \text{ “)”}$$

ただし、**id** はアルファベット 1 文字からなるトークンを表す。

この文法は曖昧なので、優先順位と結合性について次のように決めておく。

> 「==」は非結合、「&&」は右結合、「>>」は左結合であり、「==」は「&&」よりも優先順位が高く、「&&」は「>>」よりも優先順位が高いものとする。
>
> つまり、下表中の左の欄の式は、右の欄の式として解釈される。

式	解釈
`a == b == c`	構文エラー
`a && b && c`	`a && (b && c)`
`a >> b >> c`	`(a >> b) >> c`
`a == b && c`	`(a == b) && c`
`a && b == c`	`a && (b == c)`
`a == b >> c`	`(a == b) >> c`
`a >> b == c`	`a >> (b == c)`
`a && b >> c`	`(a && b) >> c`
`a >> b && c`	`a >> (b && c)`

以下の演算子順位行列の空欄 (1)〜(5) を ⋖（シフト）、⋗（還元）、✗（エラー）のうちもっとも適切なもので埋めよ。

左 \ 右	>>	&&	==	(	)	**id**	終
始	⋖	⋖	⋖	⋖	(1)	⋖	≐
>>	(2)	⋖	(3)	⋖	⋗	⋖	⋗
&&	⋗	(4)	⋖	⋖	⋗	⋖	⋗
==	⋗	⋗	(5)	⋖	⋗	⋖	⋗
(	⋖	⋖	⋖	⋖	≐	⋖	✗
)	⋗	⋗	⋗	✗	⋗	✗	⋗
id	⋗	⋗	⋗	✗	⋗	✗	⋗

V. （再帰下降構文解析）

次のような BNF で定義された文法に対して再帰下降構文解析ルーチンを作成する。

$$
\begin{aligned}
S &\rightarrow \texttt{id}\ \text{“\{”}\ E\ \text{“\}”} \mid S\ \text{“;”}\ \texttt{id}\ \text{“\{”}\ E\ \text{“\}”} \\
E &\rightarrow F \mid E\ \text{“+”}\ F \\
F &\rightarrow \texttt{id} \mid \text{“\{”}\ E\ \text{“!”}\ S\ \text{“\}”}
\end{aligned}
$$

ただし、「S」,「E」,「F」は非終端記号で、「**id**」,「{」,「}」,「;」,「+」,「!」は終端記号とする。開始記号（start symbol）は S である。

(1) E から左再帰を除去すると、次のような BNF が得られる。

$$
\begin{aligned}
E &\rightarrow F\ E' \\
E' &\rightarrow \varepsilon \mid \text{“+”}\ F\ E'
\end{aligned}
$$

これを参考にして、S から左再帰を除去せよ。補助的に導入する非終端記号は S' とせよ。

以下の (2)〜(4) は、(1) で S と E から左再帰を除去して得られた BNF について答えよ。

(2) $\mathit{Follow}(E')$ を求めよ。

(3) $\mathit{Follow}(S')$ を求めよ。

(4) 下の構文解析表の E, E' の行を埋めよ。

	id	{	}	;	+	!	$
$S \rightarrow$							
$S' \rightarrow$							
$E \rightarrow$							
$E' \rightarrow$							
$F \rightarrow$							

(4) の解答は次の選択肢から選べ。

(A) $F\ E'$　(B) ε　(C) “+” $F\ E'$　(D) ✗

ただし、✗ は “構文誤り” を示す。

(5) この文法に対して、入力が文法にしたがっていれば「正しい構文です。」間違っていれば「構文に誤りがあります。」と表示する構文解析プログラムを作成する。プログラム（次ページ）中の指定の部分に入る S, S1, E, E1 F 関数のうち、E, E1, F 関数の定義を完成させよ。ただし、S, S1, E, E1, F は、それぞれ非終端記号 S S', E, E', F に対応する関数である。

（**プログラムの補足説明:** プログラム中では、終端記号は、“;” のような 1 文字のものは、その字そのもの（の ASCII コード）、**id** などのトークンは、C 言語のマクロ（例えば **id** の場合は `ID`）として表現している。

`yylex` 関数は、入力を読んで、次の終端記号を返す関数である。`token` という大域変数に、現在処理中の終端記号が代入される。`eat` 関数は、現在 `token` に入っている値が、引数として与えられた終端記号と等しいかどうか確かめ、等しければ次の終端記号を読み込む。）`reportError` 関数は、「構文に誤りがあります。」と表示し、プログラムを終了する。

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>   /* exit() 用 */
#include <string.h>   /* strcmp() 用 */
#include <ctype.h>    /* isalpha() 用 */

/* 終端記号に対するマクロの定義 */
#define ID   257      /* トークン id */
int token;            /* 大域変数の宣言 */

/* 関数プロトタイプ宣言 */
void reportError(void);
int  yylex(void);
void eat(int t);

void S(void);
void S1(void);
void E(void);
void E1(void);
void F(void);

/* ********************************************************************** */
 * この部分に 関数 S, S1, E, E1, F の定義を挿入する。                      */
/* ********************************************************************** */

/* ここ以降は解答に直接関係はない。 */
void reportError(void) {
  printf("構文に誤りがあります。\n"); exit(0); /* プログラムを終了 */
}

int main() {   /* main関数 */
  token = yylex(); /* 最初のトークンを読む */
  S();
  if (token == EOF) {
    printf("正しい構文です!\n");
  } else {
    reportError();
  }
}

int yylex(void) {    /* 簡易字句解析ルーチン */
  int c;
  char buf[256];

  do { /* 空白は読み飛ばす。 */
    c = getchar();
  } while (c == '␣' || c == '\t' || c == '\n');

  if (isalpha(c)) {  /* アルファベットだったら… */
    char* ptr = buf;
    ungetc(c, stdin);
```

```
    while (1) {
      c=getchar();
      if (!isalpha(c) && !isdigit(c)) break;
      *ptr++ = c;
    }
    *ptr = '\0';
    ungetc(c, stdin);

    return ID;
  } else {
    /* 上のどの条件にも合わなければ、文字をそのまま返す。*/
    return c;   /* ';'など */
  }
}

void eat(int t) {       /* token（終端記号）を消費して、次の tokenを読む */
  if (token == t) {
    /* 現在のトークンを捨てて、次のトークンを読む */
    token = yylex();
    return;
  } else {
    reportError();
  }
}
```

VI. （LR 構文解析）

「^」,「_」などの演算子はテキスト整形言語 LaTeX で使われている演算子で、`x^a` は上付きの添字 x^a、また `x_a` は下付きの添字 x_a を表す。LaTeX では `x_a^b` を特別扱いして、これを x_{a^b} や ${x_a}^b$ ではなく、x_a^b のように整形する。

このことを踏まえて...

次のような文法

$$
\begin{array}{rcll}
E & \to & E \text{ “\_” } E \text{ “\^{}” } E & \cdots I \\
 & | & E \text{ “\_” } E & \cdots II \\
 & | & E \text{ “\^{}” } E & \cdots III \\
 & | & \text{“\{” } E \text{ “\}”} & \cdots IV \\
 & | & \mathbf{a} & \cdots V
\end{array}
$$

に対して、LR 構文解析表を作成する。ただし、

- ··· の後の I, II などは生成規則の番号である。
- E は非終端記号である。
- “_”,”^”, “{”, “}”, “**a**” は終端記号である。このうち、”**a**” はアルファベット 1 文字からなるトークンを表す。
- “^”, “_” 演算子の優先度は等しく、どちらも右結合である。

`bison` の出力する LR 構文解析表は次のようになる。（**注:** `bison` に `-v` オプションを指定することによって、LR 構文解析表をファイルに出力させることができる。）

	_	^	{	}	**a**	$	*E*
⓪			shift ①		shift ②		goto ③
①			shift ①		shift ②		goto ④
②	reduce V						
③	shift ⑥	shift ⑦				shift ⑤	
④	shift ⑥	shift ⑦		shift ⑧			
⑤	accept						
⑥			shift ①		shift ②		goto ⑨
⑦			shift ①		shift ②		goto ⑩
⑧	reduce IV						
⑨	shift ⑥	shift ⑪	reduce II				
⑩	shift ⑥	shift ⑦	reduce III				
⑪			shift ①		shift ②		goto ⑫
⑫	shift ⑥	shift ⑦	? ? ? ? ? ?				

注:
ここで、shift ⓢ は、「シフトして状態 ⓢ へ遷移」、goto ⓢは、「状態 ⓢ へ遷移」、reduce X は、「生成規則 X を使って還元」を表す。

(1) 〜 (2)

次の入力に対して、↑の次（右）の記号を**シフトした直後**の（つまりシフトしたあと、還元がまだ起こっていないときの）スタックの状態はどのようになっているか?

(1) `{a_b^c}`　　(2) `{a_b}^c`

下の選択肢（(1)〜(2) 共通）から選べ。（左がスタックの底とする）

(A) ⓪E③^⑦　(B) ⓪{①E④^⑦　(C) ⓪{①E④}⑧^⑦

(D) ⓪{①E④_⑥E⑨^⑪　(E) ⓪{①E④_⑥E⑨}⑧^⑪

(3) `a_b^c` という入力に対しては、`c` をシフトしたあと、まず生成規則 V による還元を行なって、⓪E③_⑥E⑨^⑪E⑫というスタックの状態になる。「還元還元衝突（reduce/reduce conflict）の時は、上（先）に書かれている構文規則が優先する。」という Bison の 衝突回避規則に従うと、LR 構文解析表の ？？？？？？ の部分には何が入るべきか、次の選択肢から選べ。

(A)　reduce I　(B)　reduce II　(C)　reduce III　(D)　reduce IV　(E)　reduce V

コンパイラ・期末テスト計算用紙

コンパイラ・期末テスト計算用紙

コンパイラ（2014 年度）・期末テスト解答用紙（2014 年 07 月 31 日）

学籍番号		氏名	

I. （Backus-Naur 記法） (3×4)

(1)	(2)	(3)	(4)

II. （正規表現） (3×4)

(1)		(2)		(3)		(4)	

III. （コンパイラのフェーズ） (3×4)

(1)		(2)		(3)		(4)	

IV. （演算子順位法） (2×5)

(1)		(2)		(3)		(4)		(5)	

V. （再帰下降構文解析） (3, 4, 4, 6, 6)

(1)	$S \rightarrow$ $S' \rightarrow$
(2)	{ }
(3)	{ }

裏ページに続く。

(4)

	id	{	}	;	+	!	$
$E \rightarrow$							
$E' \rightarrow$							

(5)

```
void E(void) { /* ↓ここを埋める↓ */




}

void E1(void) { /* ↓ここを埋める↓ */




}

void F(void) {
  if (token == ID) {
                                        /* ←ここを埋める← */
  } else if (                        ) { /* ←ここを埋める← */
    eat('{'); E(); eat('!'); S(); eat('}');
  } else reportError();
}
```

VI. （LR 構文解析） (4, 4, 3)

(1)		(2)		(3)	

授業・テストの感想