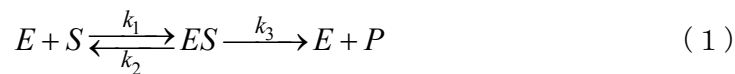


生物工学 II

次の[II - 1]~[II - 3]の3題を、それぞれ別の答案用紙に答えよ。

[II - 1] (生物)

(問1) 2次反応と1次反応からなる酵素反応(式(1))について、反応の定常状態における速度式(ミカエリス-メンテンの式(2))を、式(3)、(4)、(5)、(6)を用いて誘導せよ。ミカエリス定数は、反応速度 k_1 , k_2 , k_3 であらわされる定数である。



$$v = \frac{V_{\max}[S]}{K_M + [S]} \quad (2)$$

$$v = \frac{d[P]}{dt} = k_3[ES] \quad (3)$$

$$[E]^\circ = [E] + [ES] \quad ([E]^\circ : \text{全酵素濃度}) \quad (4)$$

反応は準定常状態にあることから、以下の様に酵素濃度は変化しないとする(式(5)、(6))。

$$\frac{d[ES]}{dt} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{d[E]}{dt} = 0 \quad (6)$$

ただし、 E : 酵素, ES : 酵素-基質複合体, S : 基質, P : 反応生成物, K_M : ミカエリス定数, v : 反応速度, V_{\max} : 反応生成物の生成反応の最大速度, $[S]$: 基質濃度 である。

(問2) ミカエリス-メンテンの式の逆数プロットを用いて、ミカエリス定数 K_M を図示し、その意味を述べよ。さらに酵素反応の阻害の型と K_M の関係について述べよ。

(次のページに続く)

(問 3) クエン酸回路において、オキサロコハク酸はイソクエン酸デヒドロゲナーゼによって脱炭酸され、 α -ケトグルタル酸になる。この際、ある化合物 A を添加することで、この脱炭酸反応は阻害される。表 1 に 100 pM のイソクエン酸デヒドロゲナーゼを用いて、オキサロコハク酸の濃度 $[S]$ に対しての α -ケトグルタル酸の産生速度 v についての実験データを示す。このデータから、イソクエン酸デヒドロゲナーゼによるオキサロコハク酸の脱炭酸反応における、 K_M と V_{\max} を求めよ。また化合物 A はこの酵素反応において、どのような阻害効果をもつかについて論じよ。

表 1 α -ケトグルタル酸の産生速度と阻害剤の効果の実験

$[S]$ (mM)	阻害剤なし v (nM/s)	阻害剤添加 v (nM/s)
0.1	0.644	0.271
0.2	0.981	0.478
2	1.86	1.55
5	1.98	1.82

[II - 2] (物理)

線状三原子分子の運動モデルを考える．この系には，質量 M の質点（質点 C）が中央にあり，その左右両側に質量 m の 2 個の質点（質点 L および R）が配置されている．質点 L と R は，それぞれ，自然長が l ，バネ定数が k のバネで質点 C と直線的に連結されている．以下では，3 つの質点 L, C, および R を結ぶ直線上に x 軸をとる．時刻 $t=0$ において，3 つの質点は x 軸方向にのみ初速度をもつとする．また，質点 L, C, および R の位置を，それぞれ x_1, x_2 , および x_3 ($x_1 < x_2 < x_3$) とする．

(問 1) この系の運動方程式を導出せよ．

(問 2) 2 つのバネの復元力が零になる平衡状態での 3 つの質点の位置（平衡位置）を \bar{x}_1, \bar{x}_2 , および \bar{x}_3 とする．3 つの質点の平衡位置からの変位を， $y_1 = x_1 - \bar{x}_1$, $y_2 = x_2 - \bar{x}_2$, および $y_3 = x_3 - \bar{x}_3$ とする．問 1 の運動方程式を y_1, y_2, y_3 に関する微分方程式として表せ．

(問 3) 問 2 で求めた y_1, y_2 および y_3 に関する微分方程式の解を， $y_1 = Ae^{j\omega t}$, $y_2 = Be^{j\omega t}$,

$y_3 = Ce^{j\omega t}$ とおく．このとき，係数 A, B および C が満たす連立方程式を導け．

(問 4) この系には 3 つの基準モードが存在する．問 3 で求めた連立方程式が自明解 ($A = B = C = 0$) 以外の解をもつ条件から，それぞれのモードを表す ω を求めよ．また，それぞれのモードに対して，係数の値の比率， $A:B:C$ を求めよ．

(問 5) 問 4 の結果に基づいて，各基準モードにおける 3 つの質点の相対運動の様子を図示せよ．特に，基準モードが振動解の場合は， y_1, y_2, y_3 の振動の相対位相が分かるように示せ．

[II - 3] (情報・システム)

1936 年、イギリスの数学者アラン・チューリングは、計算機の理論的なモデルとして、無限に長い 1 次元のテープと、その上を動く機械から構成されるチューリングマシンを考案した。チューリングマシンは以下の特徴を持つ (図 1)。

- 機械はある内部状態を持つ。取り得る内部状態の総数は有限である。
- テープはセルに区切られており、それぞれのセルには 1 個の記号が入っている。記号として、任意の数字およびアルファベットを使用できる。
- 機械にはテープの情報を読み書きするためのヘッドが備わっており、セルに記されている記号を読み取ることと、セルに記されている記号を書き換えることができる。

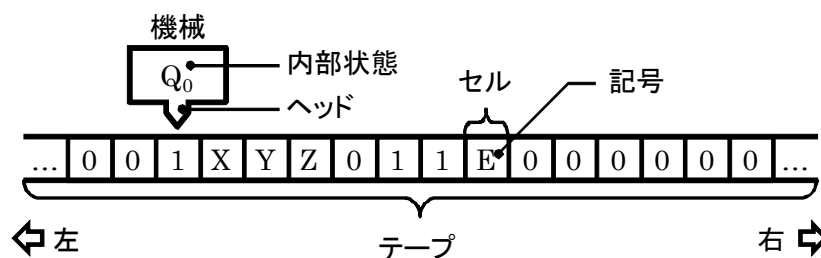


図 1

チューリングマシンはプログラムを実行することができる。プログラムは以下の手順で実行される。

1. 初期状態では、機械はテープ上のあるセル上に置かれ、ある内部状態に設定されている。
2. 機械がセルの記号を読み取る。
3. 機械の内部状態と、読み取られた記号に応じて、次の処理を順に実行する。
 - i. 内部状態を新しいものに変える。
 - ii. セルの記号を書き換える。
 - iii. 内部状態が特殊な状態「停止状態 H」となった場合、動作を停止する。
 - iv. 機械を 1 セルだけ左または右に移動する。
4. 2. に戻る。

チューリングマシンは、現在の内部状態とセルから読み取った記号の二つのパラメータに応じて、新しい内部状態、書き込む記号、および移動方向の三つのパラメータを決定することで動作するため、プログラムはこれら「五つ組」の表として記述される。

(次のページに続く)

(問 1) 表 1 で与えられるプログラムを図 2 に示された 3 本のテープのそれぞれに対して実行した場合の、各テープの区間 L の最終状態（各セルの記号列）を示せ。また、本プログラムの機能について簡潔に述べよ。なお、スタート前の内部状態を Q_0 とし、機械の初期位置は図 2 で示すセルとする。

表 1

現在の内部状態	読み取った記号	新しい内部状態	書き込む記号	移動方向
Q_0	0	Q_0	0	右
Q_0	1	Q_1	0	右
Q_1	0	Q_1	0	右
Q_1	1	Q_0	0	右
Q_0	E	H	X	(停止状態)
Q_1	E	H	Y	(停止状態)

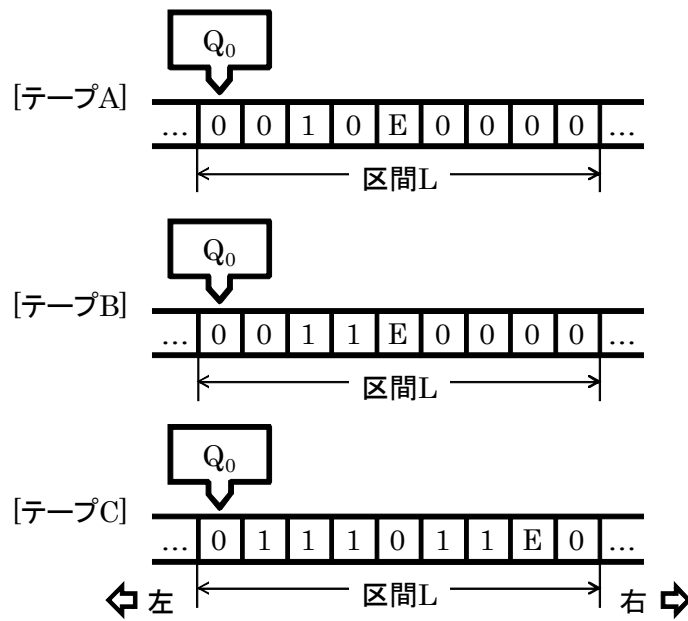


図 2

(問 2) テープ上に 0 と 1 が交互に現れる間、右へ向かって進み続け、0 か 1 が連続する（すなわち、00 あるいは 11 を検出する）と停止するプログラムを作成せよ。その際、本プログラムでは読み取った記号をそのまま書き込むものとする。初期状態を Q_0 とする。初期位置のセルの記号が 0 と 1 のいずれであるかは不明であり、テープ上には 0 と 1 以外の記号はないものとする。プログラムは表 2 の空欄を埋める形で記述し、答案用紙には表全体を書き写すこと。内部状態は Q_i ($i=0,1,2$) を用いて表し、停止状態は H とせよ。移動方向は左あるいは右で指定せよ。新しい内部状態が H となる場合、移動方向は指定しなくてよい。

(次のページに続く)

表 2

現在の内部状態	読み取った記号	新しい内部状態	書き込む記号	移動方向
Q_0	0	Q_1	0	
Q_0	1		1	
Q_1	0		0	
Q_1	1		1	
Q_2	0		0	
Q_2	1		1	

(問 3) 0 と 1 からなる任意の長さの記号列を、別の場所に移動するプログラムを作成したい。作成するプログラムは、機械の初期位置から、右側に A が現れるまでの記号列（各セルには 0 か 1 のいずれかの記号が入っている）を、A の右側に移動させる。初期状態では A の右側には 0 が続いているものとする。テープの初期状態と最終状態の例を図 3 に示す。

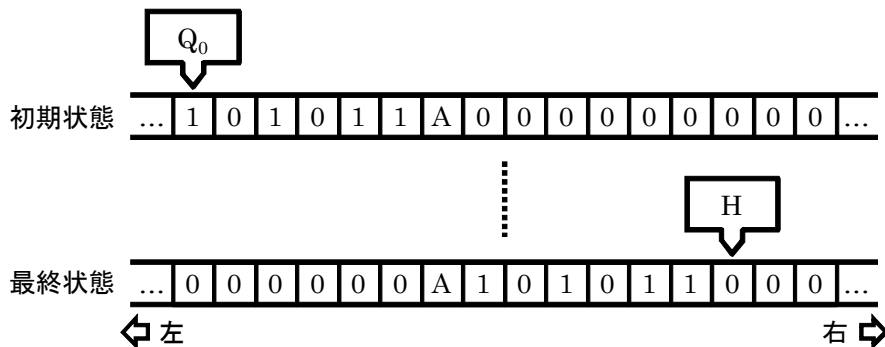


図 3

このプログラムを、以下の二つの処理に分割して作成する。

[処理 1] 移動元の記号列を、0 を X に、1 を Y に置き換えて、移動先にコピーする。同時に、移動元のコピー済みセルには Z を記入する。

[処理 2] X を 0 に、Y を 1 に、Z を 0 に置き換える。

これらの処理に関する以下の問に答えよ。

(a) 処理 1 について：初期位置にある記号 (0 もしくは 1) を読み取り、移動元のセルに Z を、移動先のセルに X (初期位置の記号が 0 だった場合) もしくは Y (同じく 1 だった場合) を書き込んだ後、初期位置まで機械を戻すプログラムは表 3 のようになる。またテープの状態の例を図 4 に示す。このプログラムの動作について解説した以下の文章の空欄ア～セに入る語句を答案用紙に記せ。[] には内部状態、() には記号、{ } には移動方向(「左」か「右」のいずれか)が入る。

プログラム開始時の内部状態である Q_0 では、読み取ったセルの記号が 0 であれば[ア]に、(イ)であれば[ウ]に内部状態を遷移する。この際にこのセルが処理済みであることを示すために、初期位置のセルの記号を(エ)に書き換える。

(次のページに続く)

記号 0 を読み取った場合、内部状態[ア]では{ オ }へ探索を続け、記号(カ)を検出すると内部状態[キ]に移行する。記号(カ)が入っているセルの{ ク }隣のセルが記号の移動先であり、内部状態[キ]ではそこに記号(ケ)を書き込み、内部状態[コ]へ移行する。一方、プログラム開始時に記号(イ)を読み取った場合の処理は、記号 0 の場合と同等である。処理内容はそれぞれ内部状態[ア]が内部状態[ウ]に、内部状態[キ]が内部状態[サ]に対応する。異なる点は、最後に書き込む記号が(シ)であることである。内部状態[コ]では初期位置へ戻る処理を行う。記号(ス)が出現するまで{ セ }へ移動し、記号(ス)を検出すると内部状態 Q_0 に移行する。この処理を繰り返すことにより、処理 1 が終了する。

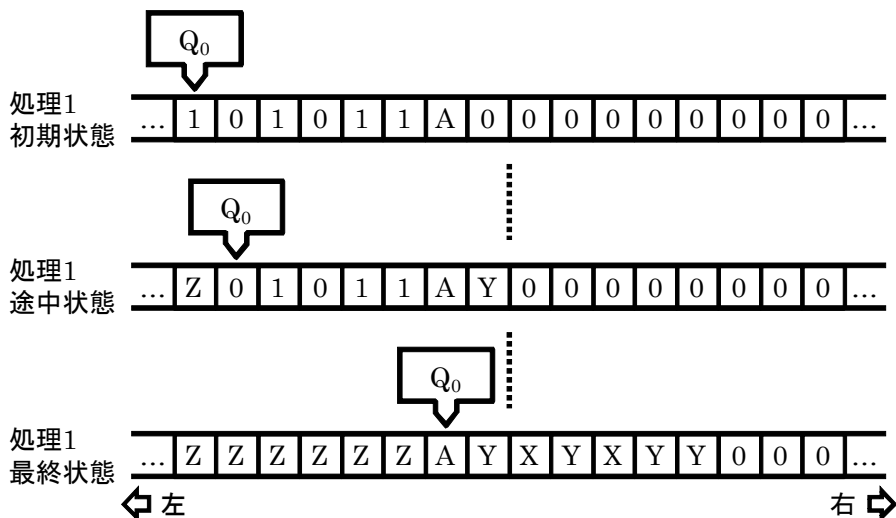


図 4
表 3

現在の内部状態	読み取った記号	新しい内部状態	書き込む記号	移動方向
Q_0	0	Q_1	Z	右
Q_0	1	Q_3	Z	右
Q_1	0	Q_1	0	右
Q_1	1	Q_1	1	右
Q_1	A	Q_2	A	右
Q_2	0	Q_5	X	左
Q_3	0	Q_3	0	右
Q_3	1	Q_3	1	右
Q_3	A	Q_4	A	右
Q_4	0	Q_5	Y	左
Q_5	0	Q_5	0	左
Q_5	1	Q_5	1	左
Q_5	A	Q_5	A	左
Q_5	Z	Q_0	Z	右

(次のページに続く)

(b) 処理 2 について: 処理 1 の終了後, X を 0 に, Y を 1 に, Z を 0 に置き換える処理 2 を行う. この処理によって目的である記号列の移動処理が完了する. テープの初期状態および最終状態の例を図 5 に示す. 処理 2 におけるテープの初期状態は処理 1 の終了状態であり, 機械の初期位置は A が記されたセル上であるとする. 表 4 の空欄ア~コを埋めて, 本処理を実行するプログラムを作成せよ. ただし, テープの両端は 0 が続いているものとする.

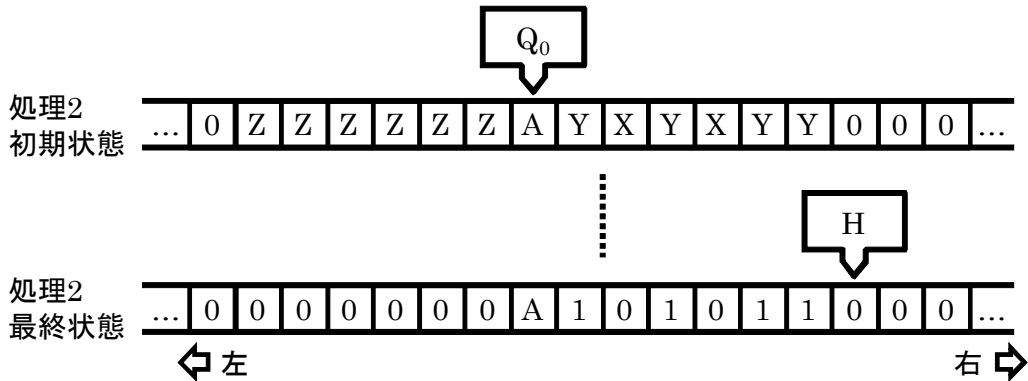


図 5

表 4

現在の内部状態	読み取った記号	新しい内部状態	書き込む記号	移動方向
Q ₀	A	Q ₀	A	左
Q ₀	Z	[ア]	Z	{イ}
Q ₀	0	[ウ]	0	{エ}
Q ₁	A	[オ]	A	{カ}
Q ₁	X	Q ₁	(キ)	右
Q ₁	Y	Q ₁	(ク)	右
Q ₁	Z	Q ₁	(ケ)	右
Q ₁	(コ)	H	(コ)	(停止状態)

(問 4) ある二進数を別の二進数に加算するプログラムを作成したい. 二つの二進数は同一ビット数であるものとする. 初期状態のテープには, 二つの二進数が記号 A で区切られて記入されており, 左が下位ビットであるとする. 機械の初期位置は左側の二進数の最下位ビット上とする. 図 6 は 12 (二進数で 1100) と 13 (二進数で 1101) の和を計算する場合の初期状態である.

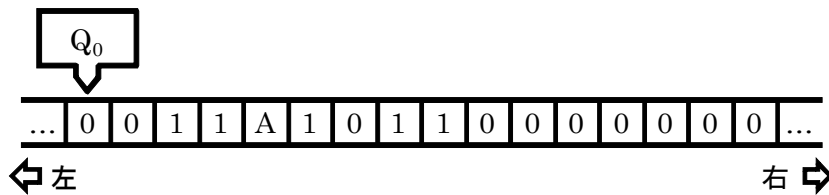


図 6

問 3 における記号の利用方法を参考にして, 本プログラムの処理手順を説明せよ. なお, プログラムは作成しなくてもよい.