

2017年9月・2018年4月入学試験

大学院先進理工学研究科一貫制博士課程

先進理工学専攻

問題表紙

- ◎問題用紙が 11 ページあることを試験開始直後に確認しなさい。
- ◎解答用紙が 3 枚綴りが 1 組あることを試験開始直後に確認しなさい。

選択科目 A 群の物理 I, 化学 I, 電気・電子 I, 生命科学 I の中から一科目, 選択科目 B 群の物理 II, 化学 II, 電気・電子 II, 生命科学 II の中から一科目を選択して解答しなさい。

注意事項

1. 解答用紙 (別紙) は 3 枚 1 組です。解答用紙すべてに受験番号, 氏名を明記しなさい。
2. 化学 II を選択した場合は指定された解答用紙(解答用紙 3)を用いて, 解答しなさい。
3. 解答用紙の解答欄に各自で各小門番号を書き込み, どの設問に対する解答であるかを判別できるようにしなさい。
4. 電子卓上計算機は試験会場に準備したものを使用しなさい。自分で持ち込んだ計算機類 (電卓, コンピューター, 携帯電話など) は使用できません。
5. 解答は日本語または英語で行いなさい。

2017年9月・2018年4月入学試験問題
 大学院先進理工学研究科一貫制博士課程先進理工学専攻

科目名： _____ 物理 I _____

問題番号 1

1. Figure 1 に示すように、半径 R 、長さ L 、質量 m の円柱が水平直線上を滑ることなくころがって、重心速度 v の等速直線運動をしている。このような直線運動は見方を変えると、固定軸のまわりの回転運動とも見なすことができる。円柱の重心を含み円柱の長軸に垂直な面（これを紙面とする）を考え、この面内で高さ H の位置に定点 O をとる。円柱の直線運動を、定点 O を通り面に垂直な軸（ O 軸と呼ぶ）のまわりの回転と見なそう。角運動量を求める際は、紙面の表から見て時計回りの回転の時に符号を正にとることにして、次の問いに答えよ。

(1-1) 重心に全ての質量があると考えた時、速度 v で直線運動をしている円柱の、 O 軸まわりの角運動量を求めよ。

(1-2) 円柱は、重心を通り円柱長軸に平行な軸に対して、自転している。この軸のまわりの円柱の慣性モーメントを求めよ。また滑らずころがっている円柱の、この重心を通る軸まわりの角運動量を求めよ。

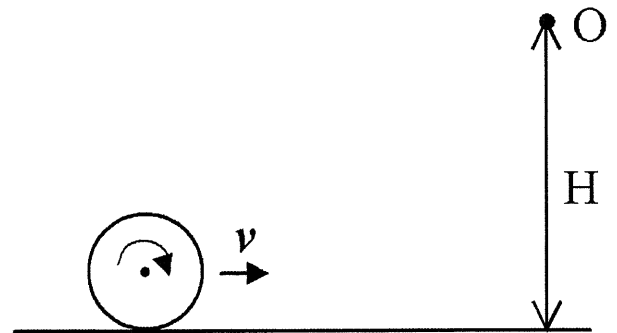


Figure 1

(1-3) 円柱の、 O を通る軸まわりの総角運動量はいくらか。

2. 上記1の直線上を等速 v で進んでいた円柱は、その後、高さ h ($< R$) の段差に衝突した (Figure 2)。この衝突は完全非弾性衝突で、衝突後、円柱は段差の角からはなれることなく段差を上がった。図のように段差のかどの直線 (O' を通り紙面に垂直な線) を軸にとり、円柱の運動を、この軸回りの回転と見なそう。

(2-1) 衝突直前の円柱の、 O' 軸まわりの角運動量はいくらか。

(2-2) 衝突直後の円柱の、 O' 軸まわりの角速度を求めよ。

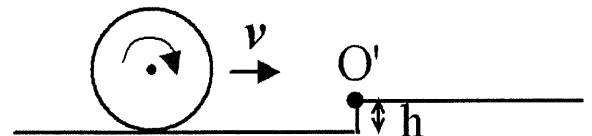


Figure 2

(2-3) 円柱が段差を上りきるために、重心速度 v が満たさなければならない条件を求めよ。

2017年9月・2018年4月入学試験問題
大学院先進理工学研究科一貫制博士課程先進理工学専攻

科目名： _____ 物理 I _____

問題番号

| |
|---|
| 1 |
|---|

1. A solid cylinder, with mass m , radius R and length L , rolls without slipping on the straight road at a constant center-of-mass velocity of v . The translational motion of the cylinder can be regarded as a rotational motion along a certain rotational axis. In Figure 1, let us take the plane including the center of mass of the cylinder and perpendicular to the cylinder's long axis. In this plane, consider a point O at the height of H from the ground. The translational motion of the cylinder is regarded as a rotation along the axis including the point O and perpendicular to the plane (called "O-axis").

The sign of the angular momentum is taken positive when the rotation is in the CW direction viewed from the front of the paper. Denote the gravitational acceleration as g .

(1-1) If the mass of the cylinder is assumed to be centralized at the center of gravity, what is the angular momentum of the cylinder along the O-axis?

(1-2) The real cylinder possesses a volume and is rotating along the axis including the center of gravity. Along this axis, calculate the moment of inertia of the cylinder, and then, give the angular momentum of the cylinder along the same axis.

(1-3) What is the total angular momentum of the cylinder along the O-axis in Figure 1?

2. After a while, the cylinder collided with the step with the height h ($< R$) as shown in Figure 2. Since it was a completely inelastic collision, the cylinder moved up being attached to the edge of the step after the collision. The motion of the cylinder can be analyzed as a rotation along the step edge O' -axis in the Figure 2.

(2-1) Just before the collision, what is the angular momentum of the cylinder along the O' -axis.

(2-2) Just after the collision, what is the angular velocity of the cylinder along the O' -axis?

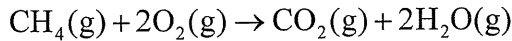
(2-3) Provide a condition required for the cylinder to completely go up the step.

2017年9月・2018年4月入学試験問題
 大学院先進理工学研究科一貫制博士課程先進理工学専攻

科目名： _____ 化学 I _____

問題番号 2

1. 1 atm, 25 °C において、メタンの完全燃焼反応に関する問に答えなさい。



必要であれば、1 atm, 25 °C における以下のデータを使いなさい。標準状態は 1 atm で定義する。

標準生成エンタルピー (単位: kJ/mol)

$$\Delta H_f^\circ(\text{CH}_4(\text{g})) = -75, \quad \Delta H_f^\circ(\text{O}_2(\text{g})) = 0, \quad \Delta H_f^\circ(\text{CO}_2(\text{g})) = -394, \quad \Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}(\text{g})) = -242$$

標準モルエントロピー (単位: J/mol K)

$$\Delta S^\circ(\text{CH}_4(\text{g})) = 186, \quad \Delta S^\circ(\text{O}_2(\text{g})) = 205, \quad \Delta S^\circ(\text{CO}_2(\text{g})) = 214, \quad \Delta S^\circ(\text{H}_2\text{O}(\text{g})) = 189$$

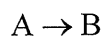
(1-1) この反応で得る熱をすべてエネルギーとして利用できるすると、1.0 MJ のエネルギーを得るのに何 mol の CO_2 が発生するか計算し、答えなさい。

(1-2) メタン 1.0 mol が反応する際の反応エントロピー変化を計算し、答えなさい。

(1-3) メタン 1.0 mol が反応する際の外界のエントロピー変化を計算し、答えなさい。

(1-4) 系と外界をあわせた全体のエントロピー変化を計算し、熱力学第二法則から、この反応が自発的かどうか説明しなさい。

2. 次の2次反応に関して、問に答えなさい。



反応速度式は

$$\frac{d[\text{A}]}{dt} = -k[\text{A}]^2$$

と書き表される。時間 t における A の濃度を $[\text{A}]_t$ 、初期濃度を $[\text{A}]_0$ とする。 $[\text{A}]_0 = 1.0 \text{ mol/L}$ のとき、半減期 $t_{1/2}$ は $1.0 \times 10^2 \text{ s}$ であった。

(2-1) 上の微分速度式を積分して、 $[\text{A}]_t$ を表す式を導きなさい。導出の過程も書きなさい。

(2-2) 半減期 $t_{1/2}$ を表す式を導きなさい。

(2-3) 速度定数 k の値を計算し、答えなさい。

(2-4) $[\text{A}]_0 = 5.0 \times 10^{-1} \text{ mol/L}$ のとき、半減期 $t_{1/2}$ の値を計算し、答えなさい。

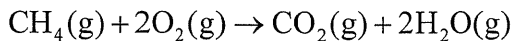
2017年9月・2018年4月入学試験問題
大学院先進理工学研究科一貫制博士課程先進理工学専攻

科目名: _____ 化学 I _____

問題番号

| |
|---|
| 2 |
|---|

1. Consider the combustion reaction of methane gas at 25 °C and 1 atm.



Use the following data at 25 °C and 1 atm.

Standard (1 atm) formation enthalpies (unit, kJ / mol)

$$\Delta H_f^\circ(\text{CH}_4(\text{g})) = -75, \quad \Delta H_f^\circ(\text{CO}_2(\text{g})) = 0, \quad \Delta H_f^\circ(\text{CO}_2(\text{g})) = -394, \quad \Delta H_f^\circ(\text{H}_2\text{O}(\text{g})) = -242$$

Standard (1 atm) molar entropies (unit, J / mol K)

$$\Delta S^\circ(\text{CH}_4(\text{g})) = 186, \quad \Delta S^\circ(\text{O}_2(\text{g})) = 205, \quad \Delta S^\circ(\text{CO}_2(\text{g})) = 214, \quad \Delta S^\circ(\text{H}_2\text{O}(\text{g})) = 189$$

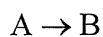
(1-1) Calculate the moles of CO₂ produced by burning methane gas to produce 1.0 MJ of heat.

(1-2) Calculate the entropy change for the combustion of 1.0 mol methane.

(1-3) Calculate the entropy change of the surroundings for the combustion of 1.0 mol methane.

(1-4) Calculate the entropy change of the universe, the system and the surroundings. Will the reaction be spontaneous?

2. Consider the following second-order reaction.



The differential rate law of the reaction can be expressed as:

$$\frac{d[\text{A}]}{dt} = -k[\text{A}]^2$$

[A]_t is the concentration of A at any time t, and [A]₀ is the initial concentration of A.

When [A]₀ = 1.0 mol/L, the half-life $t_{1/2}$ of the reaction is 1.0×10^2 s.

(2-1) Integrate the above differential rate law, and derive the integrated rate law.

(2-2) Derive the equation of the half-life $t_{1/2}$ of the reaction.

(2-3) Calculate the value of the rate constant k .

(2-4) When [A]₀ = 5.0×10^{-1} mol/L, calculate the value of $t_{1/2}$.

2017年9月・2018年4月入学試験問題
 大学院先進理工学研究科一貫制博士課程先進理工学専攻

科目名： _____ 電気・電子 I _____

問題番号 3

1. A charge of $0.5[\mu\text{C}]$ is located at $A(1[\text{cm}], 2[\text{cm}], -3[\text{cm}])$, and a second charge of $0.5[\mu\text{C}]$ is located at $B(7[\text{cm}], 10[\text{cm}], 7[\text{cm}])$. The constant value $\pi\epsilon_0$ is $\frac{1}{36} \times 10^{-9} [\text{C}^2/\text{Nm}^2]$.

(1-1) Find the electric field intensity \mathbf{E} at a point $P(7[\text{cm}], 10[\text{cm}], -3[\text{cm}])$ and the magnitude of \mathbf{E} .

(1-2) Find the electric field intensity \mathbf{E} at a point $Q(4[\text{cm}], 6[\text{cm}], 2[\text{cm}])$ and the magnitude of \mathbf{E} .

2. An infinite line charge with the line charge density $\rho_L [\text{C}/\text{m}]$ is parallel to the z axis at $x=6[\text{m}], y=8[\text{m}]$. The constant value $\pi\epsilon_0$ is $\frac{1}{36} \times 10^{-9} [\text{C}^2/\text{Nm}^2]$.

(2-1) Find the electric field intensity \mathbf{E} at a point $P(x, y, z)$.

(2-2) Find the electric field intensity \mathbf{E} at a point $P(7[\text{m}], 10[\text{m}], 9[\text{m}])$ and the magnitude of \mathbf{E} .

3. Three positive point-charges ($Q_1[\text{C}]$, $Q_2[\text{C}]$ and $Q_3[\text{C}]$) are located as shown in Fig.1. The constant value $\pi\epsilon_0$ is $\frac{1}{36} \times 10^{-9} [\text{C}^2/\text{Nm}^2]$.

(3-1) Find the magnitude of \mathbf{F}_1 on Q_1 .

(3-2) Find the magnitude of \mathbf{F}_2 on Q_2 .

(3-3) Find the magnitude of \mathbf{F}_3 on Q_3 .

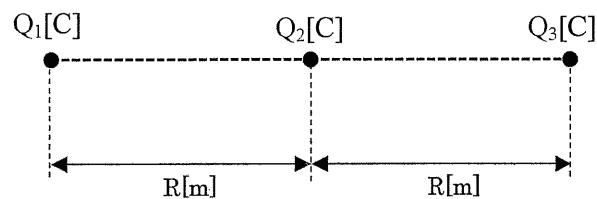


Figure 1.

2017年9月・2018年4月入学試験問題
大学院先進理工学研究科一貫制博士課程先進理工学専攻

科目名： _____ 生命科学 I _____

問題番号

4

1. 以下の文章の空欄(A)~(D)を埋めなさい。

Please fill in (A)~(D) of the following sentences.

(1-1) キラリティに着目すると、生体内のアミノ酸は (A) 体に、糖質も (B) 体に偏って存在している。このようにキラリティが偏って存在する現象を (C) と言う。

As focused in chirality of the building blocks of cells, (A)-amino acids and (B)-sugars are predominant in the cells. This phenomenon called (C) in biology.

(1-2) 人の皮膚において、(D) は皮膚の表面を覆う細胞層であり、防水のバリアーとして働いており、自己修復能を持ち、常に細胞が更新されている。また、その下層の結合組織の細胞層がコラーゲンに富む (E) である

An (D) forms the outer covering cell layer of human skin, creating a waterproof barrier that is self-repairing and continually renewed. Beneath this lies a relatively thick layer of connective tissue, which includes the tough collagen-rich (E).

2. 以下の分子生物学・細胞生物学に関わる術語について対比させながら詳細に説明しなさい。

Explain in detail the following words about molecular and cell biology.

(2-1) RNAi と CRISPR/Cas9 (RNAi and CRISPR/Cas9)

(2-2) オートファジーとアポトーシス (Autophagy and Apoptosis)

(2-3) 体性幹細胞と胚性幹細胞 (Somatic stem cells and Embryonic stem cells)

3. 以下の生体組織をそれぞれ使って、既に分化した細胞内にも生体を構成するのに必要な遺伝情報が保存されているということを証明した実験について詳細に説明しなさい。

Explain in detail the experiments, which showed that a differentiated cell contains all the genetic instructions necessary to direct the formation of a complete organism using the following living tissues, respectively.

(3-1) カエルの皮膚細胞を使用した場合 (Skin cells from adult frog)

(3-2) ニンジンの切片を使用した場合 (Section of carrot)

2017年9月・2018年4月入学試験問題
 大学院先進理工学研究科一貫制博士課程先進理工学専攻

科目名： _____ 物理 II _____

問題番号

5

1. 次の問いに答えよ。

(1-1) ポテンシャルのない場合の電子（自由電子，質量 m ）の1次元の時間に依存するシュレディンガー方程式を書いて，その解（モード）を書け。また，モードの分散関係（ k と ω の関係）を書け。

(1-2) (1-1)の方程式から，時間に依存しないシュレディンガー方程式を導け。また，時間に依存しない方程式の解からそのまま表せないような，時間に依存する方程式の解を1つ書け。

(1-3) エルミート演算子の定義を述べよ（ブラケット形式を用いてよい）

(1-4) $p = \frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial x}$ はエルミート演算子となることを示せ。

(1-5) エルミート演算子 Q の固有値 q は実数であることを示せ。

2. ハミルトニアン H の時間に依存しないシュレディンガー方程式 $H|\Phi\rangle = E|\Phi\rangle$ の解， $|\Phi\rangle$ を正規完全直交系 $|\varphi_i\rangle$ で展開することを考える。すなわち $|\Phi\rangle = \sum_i c_i |\varphi_i\rangle$ とする。ただし， $\langle \varphi_i | \varphi_j \rangle = \delta_{ij}$ である。

(2-1) $H|\varphi_i\rangle = \sum_k H_{ki} |\varphi_k\rangle$ のとき， $\langle \varphi_j | H | \varphi_i \rangle$ を求めよ。

(2-2) (c_i) は行列 (H_{ki}) の固有ベクトルであり， E はその固有値であることを示せ。

3. シュレディンガー方程式からハイゼンベルグ方程式を求めたい

(3-1) ハミルトニアン H の時間に依存するシュレディンガー方程式の解 $|\psi(t)\rangle$ における，エルミート演算子 A の期待値を書け。

(3-2) (3-1)の結果を H と $|\psi(0)\rangle$ で書け。またこの式を基に，演算子 A のハイゼンベルグ表示 A_H を定義せよ。

(3-3) A_H の満たす方程式（ハイゼンベルグ方程式）を導け。

(3-4) $[x, p] = i\hbar$ の交換関係を用いて，自由電子（質量 m ）の場合の，演算子 x, p についてのハイゼンベルグ方程式をそれぞれ解け。

2017年9月・2018年4月入学試験問題
大学院先進理工学研究科一貫制博士課程先進理工学専攻

科目名： _____ 物理 II _____

問題番号

| |
|---|
| 5 |
|---|

1. Answer the following questions.

(1-1) Write the time-dependent Schrödinger equation for the free electron (the mass is m and the potential is zero) in one dimension. Write the solution (mode) of the equation. Write the dispersion relation (the relation between k and ω).

(1-2) Derive the time-independent Schrödinger equation from the equation in (1). Write a solution of the time-dependent equation that cannot be simply described by the solution of the time-independent equation.

(1-3) Write the definition of the Hermitian operator. (You can use the bra-ket notation.)

(1-4) Show that $p = \frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial x}$ is an Hermitian operator.

(1-5) Show that the eigenvalue q of the Hermitian operator Q is real.

2. We expand the solution $|\Phi\rangle$ of the time-independent Schrödinger equation $H|\Phi\rangle = E|\Phi\rangle$ by orthogonal function series $|\varphi_i\rangle$ as $|\Phi\rangle = \sum_i c_i |\varphi_i\rangle$. Here, $|\varphi_i\rangle$ satisfies $\langle \varphi_i | \varphi_j \rangle = \delta_{ij}$.

(2-1) If $H|\varphi_i\rangle = \sum_k H_{ki} |\varphi_k\rangle$, what does $\langle \varphi_j | H | \varphi_i \rangle$ become?

(2-2) Show that (c_i) is an eigenvector of the matrix (H_{ki}) and E is its eigenvalue.

3. We want to deduce the Heisenberg equation from the Schrödinger equation.

(3-1) Write the expected value of an Hermitian operator A for the state $|\psi(t)\rangle$, which is a solution of a time-dependent Schrödinger equation with the Hamiltonian H .

(3-2) Write the result of (3-1) by H and $|\psi(0)\rangle$. Based on this result, write the definition of the operator A in the Heisenberg picture, A_H .

(3-3) Deduce the equation (the Heisenberg equation) for A_H to satisfy.

(3-4) Using the commutation relation $[x, p] = i\hbar$, solve the Heisenberg equation for the free electron (the mass is m) with respect to x and p .

2017年9月・2018年4月入学試験問題
大学院先進理工学研究科一貫制博士課程先進理工学専攻

科目名： _____ 化学 II _____

問題番号 6

1. From the listed two molecules, select one molecule that match the claimed property. Write the chemical structure of the selected molecule, and explain the reason.

- (a) Ferrocene and cyclopentadiene: which has a larger number of signals in the ^1H NMR spectrum?
- (b) Benzene and naphthalene: which has a larger resonance stabilization energy per ring?
- (c) Pyrrole and pyridine: which is a stronger base?
- (d) Anthracene and phenanthrene: which has a larger resonance stabilization energy?
- (e) Azulene and naphthalene: which has a larger dipole moment?
- (f) Pyridine and pyrrole: which is more easily to be oxidatively polymerized?

2. Write the chemical formula (i.e. monomers, polymers, and other reagents) to synthesize the following polymers.

- | | |
|-----------------------------|------------------------------|
| (a) Polystyrene | (b) PET |
| (c) Poly(vinyl alcohol) | (d) Poly(phenylene vinylene) |
| (e) Poly(phenylene sulfide) | (f) Poly(ethylene oxide) |

3. Answer the following questions on the metal complexes (a) – (g)

(3-1) Show the oxidation state of the metal in the complex, according to the example.

Example: $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, Fe^{III}

(3-2) Sketch the steric structure.

- (a) $[\text{Co}(\text{tpp})]$ ($\text{tpp}^{2-} = \text{meso-tetraphenylporphyrinato}^{2-}$)
- (b) $\text{K}_2[\text{Ni}(\text{CN})_4]$
- (c) $[\text{Ru}(\text{NH}_3)_5(\text{N}_2)]^{2+}$
- (d) $[\text{Cu}(\text{phen})]\text{ClO}_4$ (phen = phenanthroline)
- (e) $[\text{VO}(\text{acac})_2]$
- (f) $[\text{Ni}_2(\text{Cp})_3]^+$ ($\text{Cp}^- = \text{cyclopentadienyl}^-$)
- (g) $[\text{Ni}(\text{CO})_4]$

2017年9月・2018年4月入学試験問題
 大学院先進理工学研究科一貫制博士課程先進理工学専攻

科目名： _____ 電気・電子II _____

問題番号 7

1. In Fig.1, the current is given by $i(t) = I \sin(\omega_0 t)$ where ω_0 is the resonant frequency of the circuit. Answer the following questions.
- (1) Express the resonant frequency ω_0 and quality factor Q as functions of R , L and C .
 - (2) Express the voltage $e(t)$ as functions of R , L , C , ω_0 and I .
 - (3) Find the energy dissipated in resistor per cycle.
 - (4) Find the maximum energy stored in the inductor.
 - (5) Find the maximum energy stored in the capacitor.
 - (6) Find the energy stored in the circuit.
 - (7) Express the quality factor Q in terms of the above energies.

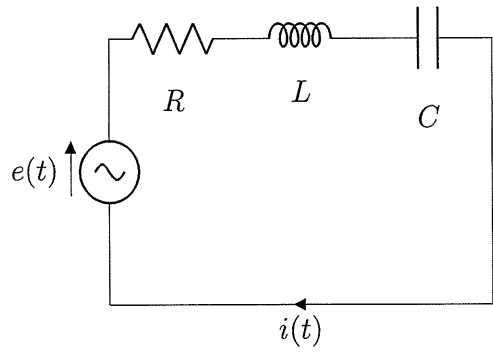


Fig.1 RLC circuit

2017年9月・2018年4月入学試験問題
大学院先進理工学研究科一貫制博士課程先進理工学専攻

科目名： _____ 生命科学 II _____

問題番号 8

1. タンパク質のリン酸化について以下の問題に答えなさい。

Please answer the following questions about protein phosphorylation.

(1-1) タンパク質のリン酸化・脱リン酸化を担う酵素の総称をそれぞれ答えなさい。

Answer the name of each enzyme catalyzing phosphorylation and dephosphorylation.

(1-2) 真核生物においてタンパク質がリン酸化を受ける際に、リン酸化される可能性があるアミノ酸をすべて挙げて、それぞれのアミノ酸の側鎖の構造、1文字表記、3文字表記を記しなさい。

Answer the amino acids those have possibility to be phosphorylated in eukaryotic cells, and adding the side chain structure, one letter and three letter abbreviations of the amino acids.

(1-3) あるタンパクが高度にリン酸化を受けた場合、SDS-PAGEによる電気泳動でのバンドの移動度はリン酸化を受けていない場合に比べてどのようになることが予想されるか答えなさい。

Explain how the mobility of a band in SDS-PAGE is expected to change, when a protein is highly phosphorylated?

(1-4) あるタンパク質のリン酸化による生体への影響を調べるため、リン酸化を受けるアミノ酸をそれぞれ以下のアミノ酸に変異させたものを作製し解析を行うことにした。なぜそのような変異体を作製して解析するのかをそれぞれについて答えなさい。

To examine the effect of phosphorylation in biological function, the amino acid that has possibility to be phosphorylated is mutated to the following amino acids. Explain why such type of mutant is used for study.

(a) リン酸化を受けるアミノ酸をアラニンに変異した場合

When the amino acid is mutated to alanine.

(b) リン酸化を受けるアミノ酸をアスパラギン酸に変異させた場合

When the amino acid is mutated to aspartic acid.

(1-5) タンパク質のリン酸化によって生体機能が制御されている例を一つ挙げて詳細に説明しなさい

Explain with an example that the biological function is regulated by protein phosphorylation.