平成 26 年度神戸大学大学院工学研究科博士課程前期課程入学試験

電力工学

問題 1．水力発電の基礎となる水のエネルギー保存について，以下の問に解答しなさい．

重力下（重力加速度を g とする）にある水（質量密度を ρ とする）に働く力を考える．簡単のために，図 1 に示す様に水の流れは鉛直下向き方向とし，この方向に z 軸をとり，位置エネルギーの基準点を $z=0$ とする．鉛直位置 z において，厚さ Δz の微小部分を考える．微小部分の断面積は上下面とも S とする．

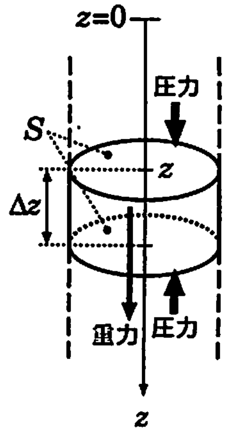

図 1

(1) 微小部分の水の質量を求めなさい．

(2) 水の速度 v を z の関数とする．加速度 $\mathrm{d}v/\mathrm{d}t$ を z に対する微分に変形しなさい．

(3) 圧力を z の関数とする．微小部分の上面にかかる圧力を p として，下面にかかる圧力による力を，Δz, p, $\mathrm{d}p/\mathrm{d}z$, S を用いて表しなさい．

(4) (2) で求めた加速度を用い，重力と圧力とにより加速度が決まる形式で，微小部分についての運動の式を求めなさい．

(5) (4) で求めた z に対する微分方程式を解いて，水のエネルギー（密度）保存の式を導きなさい．

問題 2．水力発電で使われる水車について，以下の問に解答しなさい．

二つの相似形の水車 1, 2 を使って水車の比速度について考える．水車の回転速度，設計流量，有効落差，出力，ランナ直径，ランナ周辺速度を，それぞれ N_i, Q_i, H_i, P_i, D_i, V_i とする（$i=1,2$ でそれぞれ水車 1, 2 に対する量を表す）．水車 2 に対する水車 1 のこれらの量の比を添字 R を付けて表す（$Q_1/Q_2=Q_\mathrm{R}$ など）．

(1) P_R を Q_R と H_R とで表しなさい．

(2) Q_R を D_R と V_R とで表しなさい．

(3) V_R を D_R と N_R とで表しなさい．

(4) 水の流入速度は有効落差の平方根に比例する．V_R を H_R で表しなさい．

(5) 以上の関係を利用して，N_R を P_R と H_R とで表しなさい．

(6) $H_2=1\,\mathrm{m}$, $P_2=1\,\mathrm{kW}$ のときの N_2 を比速度（n_s とする）といい，水車の種類毎に適した値がある．有効落差 150 m，出力 22,500 kW，周波数 50 Hz の水車発電機の定格回転速度を（単位 rpm にて）求めなさい．ただし，発電機の損失は無視でき，水車にはフランシス水車を用いるものとし，比速度はその限界式: $n_s=\dfrac{20000}{H+20}+30$ で求めるものとします（式中 n_s の単位は rpm．また，H は有効落差で単位は m）．$3.5^4\simeq 150$ の近似を用いなさい．

問題3．電気エネルギーを貯蔵する手法について，以下の問に解答しなさい．$\boxed{\text{ア〜キ}}$ には入れるべき最も適切な言葉を【語群】から選んでその記号を，$\boxed{1\sim 4}$ には入れるべき適切な数式を（同じ番号には同じ数式が入る），答案用紙の該当欄にそれぞれ記入しなさい．(3) については，該当欄に手順を記述しなさい．

(1) 電気エネルギーの貯蔵手段は，従来は位置エネルギーの形で蓄える $\boxed{\text{ア}}$ や化学エネルギーの形で蓄える2次電池しかなかったが，技術の進展に伴って，他のいくつかの手段が開発されてきた．

キャパシタとして $\boxed{\text{イ}}$ を用いることにより，キャパシタによる貯蔵量は飛躍的に増大した．瞬停対策向けの製品などが実用化されている．

超電導材の開発に合わせて，$\boxed{\text{ウ}}$ と呼ばれる $\boxed{\text{エ}}$ エネルギーの形で蓄える装置が開発されている．電力供給の安定化への利用に向け，実証試験が行われている．

2次電池として，従来の鉛蓄電池以外のものが開発されている．最近，航空機へ搭載されたものが話題になった $\boxed{\text{オ}}$ 電池の他，$\boxed{\text{カ}}$ 電池や $\boxed{\text{キ}}$ 電池などがある．

【語群】

a. 化学，b. セラミックキャパシタ，c. NAS，d. 揚水発電，e. GIS，f. SMES，g. 光，
h. 地熱発電，i. 燃料，j. ガスタービン，k. リチウムイオン，l. 電気二重層キャパシタ，
m. 磁気，n. 核融合発電，o. MHD，p. レドックスフロー

(2) キャパシタでエネルギー貯蔵することを考える．図2に示す様に，直流電圧 E の電圧源と内部抵抗 R とで構成される電源で，静電容量 C のキャパシタを充電する．時間を t として，キャパシタの電荷 q を用いて電圧 v_{C}，電流 i_{C} を表すと，$v_{\mathrm{C}} = \boxed{1}$，$i_{\mathrm{C}} = \boxed{2}$ である．$t<0$ では $q=0$ で，$t=0$ にスイッチSを閉じるとすると，十分時間が経過した後にキャパシタに蓄えられるエネルギーは，

$$\int_0^\infty v_{\mathrm{C}} i_{\mathrm{C}} \mathrm{d}t = \int_0^\infty \boxed{1}\ \boxed{2}\ \mathrm{d}t = \int_0^\infty \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\boxed{3}\right)\mathrm{d}t = \Big[\ \boxed{3}\ \Big]_0^{CE} = \boxed{4} \qquad \text{(A)}$$

と求まる．

(3) インダクタでエネルギー貯蔵することを考える．図3に示す様に，直流電流 J の電流源と内部コンダクタンス G とで構成される電源で，自己インダクタンス L のインダクタに電流を供給する．インダクタの磁束を ϕ，電圧を v_{L}，電流を i_{L}，時間を t とする．$t<0$ では $\phi=0$ で，$t=0$ にスイッチSを閉じるとして，十分時間が経過した後にインダクタに蓄えられるエネルギーについて，ϕ の変化に注目して，式(A)と同様の手順で求めなさい．

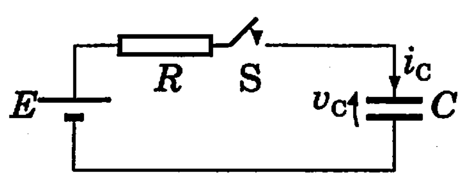

図2

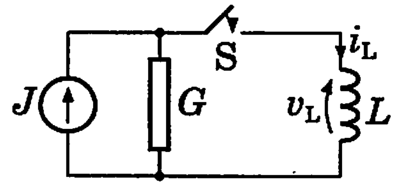

図3