

【解答】
[設問1] a－エ, b－ウ
[設問2] c－イ, d－キ, e－ウ
[設問3] f－オ

【解説】
A/D変換に関する問題である。内容的にはPCM（Pulse Code Modulation、パルス符号変調方式）を理解していればよいが、波形の振幅の大きさ（本問題では電圧の値）をアナログ値としてデジタル化する。PCMは午前、午後とも過去に出題されているため、学習していた受験者も多かったことと推測しているが、知らなくとも手順、内容が記述されているので、標準化、量子化、符号化の内容を読み取ることができれば解ける。記述内容の理解と計算に注意が必要であるが、難易度としては普通である。
音声信号などをデジタル化して伝送する方式をPCMというが、最初にその考え方を説明する。例えば、アナログ信号をデジタル回線の上にそのまま伝送することはできない。そこで、デジタル化を行い、デジタル信号として伝送する。送られてきたデジタル信号は、元のアナログ信号に復元し、利用することになる。これら一連の過程は次のようになる。

(1) 標準化（サンプリング）
問題の図1のとおりアナログ信号の波形から、その振幅を一定の時間間隔で読み取ることをいう、つまり、時間軸をデジタル化する操作である。どの程度の時間間隔で読み取ればよいかが問題となるが、それを提唱したのが、シャノンである。信号の最高周波数をfとすると、2f以上の周波数で標準化すればよいことが証明されている。時間間隔でいうと、標準化の時間間隔がTなら、 $T \leq \frac{1}{2f}$ が成立すればよいことになる。これをシャノンの標準化定理という。

(2) 量子化
問題の図2のとおり読み取った標本値をある刻み幅の整数倍の値で近似すること。読み取った標本値（アナログ値）を何段階の値（刻み幅による）で量子化するかによって波形の品質が決まる。原信号の振幅を四捨五入して限られた数で表現される量子化された信号と、原信号の振幅の差を量子化誤差という。

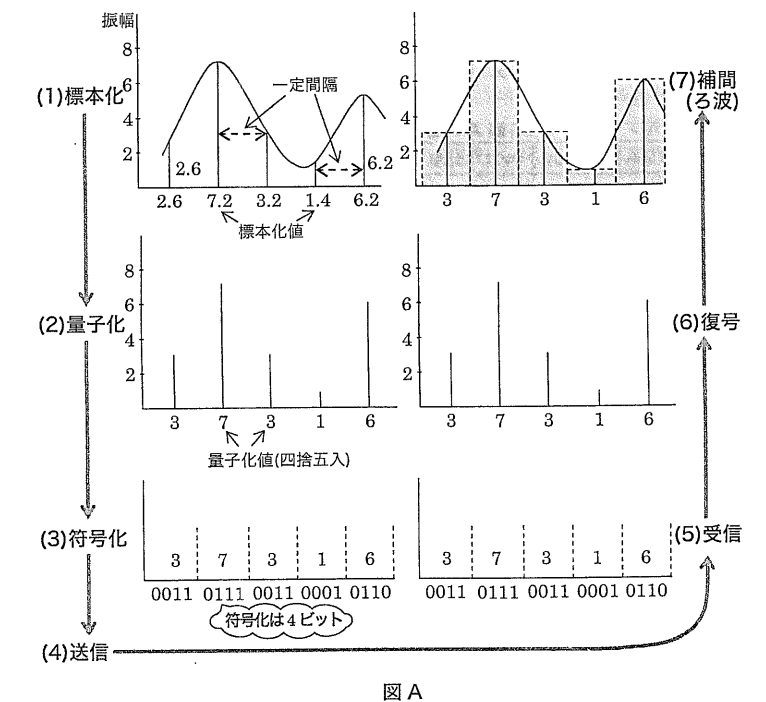
(3) 符号化
量子化された標本値を2進数値のデジタル符号に変換すること。何ビットの符号に置き換えるかは量子化の精度と関連するが、量子化による整数値が8通りあれば3ビット、16通りあれば4ビットが必要である。逆に、8ビットあれば、 $2^8=256$ 通りの整数値に対応させることができる。
以降、本問題には含まれないが、参考までに示す。

(4) デジタル信号の送信
符号化されたデジタル信号をデジタル回線で伝送する。

(5) デジタル信号の受信
送られてきた信号を受信する。

(6) 復号
送られてきたデジタル信号のビット列から、量子化を行ったときの整数値に復元することをいう。

(7) 補間（ろ波）
復号された整数値（標本パルス）から、元のアナログ信号に復元すること。完全な元のアナログ信号とは異なることになるが、実用上は支障なく利用できる。これらの過程を図示すると図Aのようになる。



本問題では、振幅の大きさが電圧で示されており、量子化、符号化の内容だけを問うている。解答を考えるときは、電圧及び測定値の値を、問題文(2)から正確に把握する必要がある。
なお、A/D変換は、音声などのアナログデータをデジタル媒体に記録する際に用いられる。記録されたデータを取り出し、再生するときは逆のD/A変換が用いられる。

【設問1】
・空欄a, b: 図2で示されている量子化の例から、次のことを理解し、表1と関連付ける。
アナログ波形の電圧の値（×印箇所）: $v(t_0)$, $v(t_1)$, $v(t_2)$, ..., $v(t_9)$, $v(t_{10})$
アナログ波形の測定値（○印箇所）: v_0 , v_1 , v_2 , ..., v_9 , v_{10}

これは実際の電圧の値 $v(t_0) \sim v(t_{10})$ を測定値 $v_0 \sim v_{10}$ で近似していることを意味している。測定値は刻み幅 q の整数倍であるが、図2の例でいうと、最大値は v_7 であるから、測定値の範囲は $v_0 \sim v_7$ の8通りあればよい。したがって、測定値を符号化するためのビットは3ビット($2^3=8$)でよく、その対応付けを示しているのが表1である。表1の内容をすべて示すと表Aのようになる。

表A 電圧と符号の対応								
電圧(v)	v_0	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7
符号	000	001	010	011	100	101	110	111

また、表2は各時刻における測定値の符号化の内容を示しているが、これは図2右の各時刻における、波形上にある○印の測定値 $v_1 \sim v_7$ を読み取り、表Aの符号を判断、確認すればよい。時刻 $t_0 \sim t_3$ の内容が既知なので大きなヒントとなるが、すべての内容を示すと、表Bのようになる。

表B 各時刻における測定値、符号の内容											
時刻	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}
測定値	v_1	v_3	v_3	v_2	v_3	v_7	v_6	v_5	v_3	v_3	v_5
符号	001	011	011	010	011	111	110	101	011	011	101

したがって、空欄aは（エ）、空欄bは（ウ）が正解である。

【設問2】
・空欄c～e: FSR（Full Scale Range）は電圧の最大幅であり、刻み幅 q は問題文(2)から、次のようになる。
 $q = \text{FSR} / (2^n - 1)$ n は量子化のビット数
ここで、 n を4ビット、FSRを9Vとした場合、刻み幅 q は
 $q = 9 / (2^4 - 1) = 9 / 15 = 0.6(\text{V})$
となる。したがって空欄cは（イ）が正解である。
また、アナログ信号の電圧 $v(\text{tm})$ の測定値は、 $N \times q - q / 2 \leq v(\text{tm}) < N \times q + q / 2$ を満たす $N \times q$ の値となることが問題文(2)に記述されている。
 $v(\text{tm}) = 7.49$, $q = 0.6$ とすると、次のようになる。
$$\frac{N \times 0.6 - 0.6 / 2 \leq 7.49 < N \times 0.6 + 0.6 / 2}{\text{式①} \qquad \qquad \qquad \text{式②}} \qquad N \text{は} 0 \text{以上の整数}$$

式①より、 $N \times 0.6 - 0.6 / 2 \leq 7.49$
 $N \times 0.6 \leq 7.79 \qquad \therefore N \leq 12.983 \dots$
式②より、 $7.49 < N \times 0.6 + 0.6 / 2$
 $7.19 < N \times 0.6 \qquad \therefore N > 11.983 \dots$
 N は整数であるから、式①、②をともに満たす値は12となる。したがって、測定値は
 $N \times q = 12 \times 0.6 = 7.2(\text{V})$
となり、空欄dは（キ）が正解となる。
この測定値7.2(V)を表1の場合と同様に、4ビットの2進符号0000～1111の順に対応付けて符号化すると表Cのようになる。4ビットで表現できる情報の種類は $2^4=16$ 通りなので、測定値の範囲は $v_0 \sim v_{15}$ となる。着眼点は、表A, Bから理解できるように、電圧記号 v の後にある数字を2進数に変換した値が符号になることであるが、測定値の値を0.0から刻み幅を0.6として、符号は0000から順に加算しながら、表を作成しても解決できる。

表C 各測定値における4ビット符号の内容											
測定値	v_0	v_1	v_2	v_3	v_4	...	v_{11}	v_{12}	v_{13}	...	v_{15}
値 $N \times q$	0.0	0.6	1.2	1.8	2.4	...	6.6	7.2	7.8	...	8.4
符号	0000	0001	0010	0011	0100	...	1011	1100	1101	...	1111

したがって、空欄eは（ウ）が正解である。

【設問3】
・空欄f: 標準化は50ミリ間隔で5秒間である。このとき、標準化を行うための時間軸がどうなるかを最初に理解する必要がある。例えば、50ミリ間隔で100ミリ秒間標準化したとすると、時間軸は t_0 , t_1 , t_3 の三つである。

