

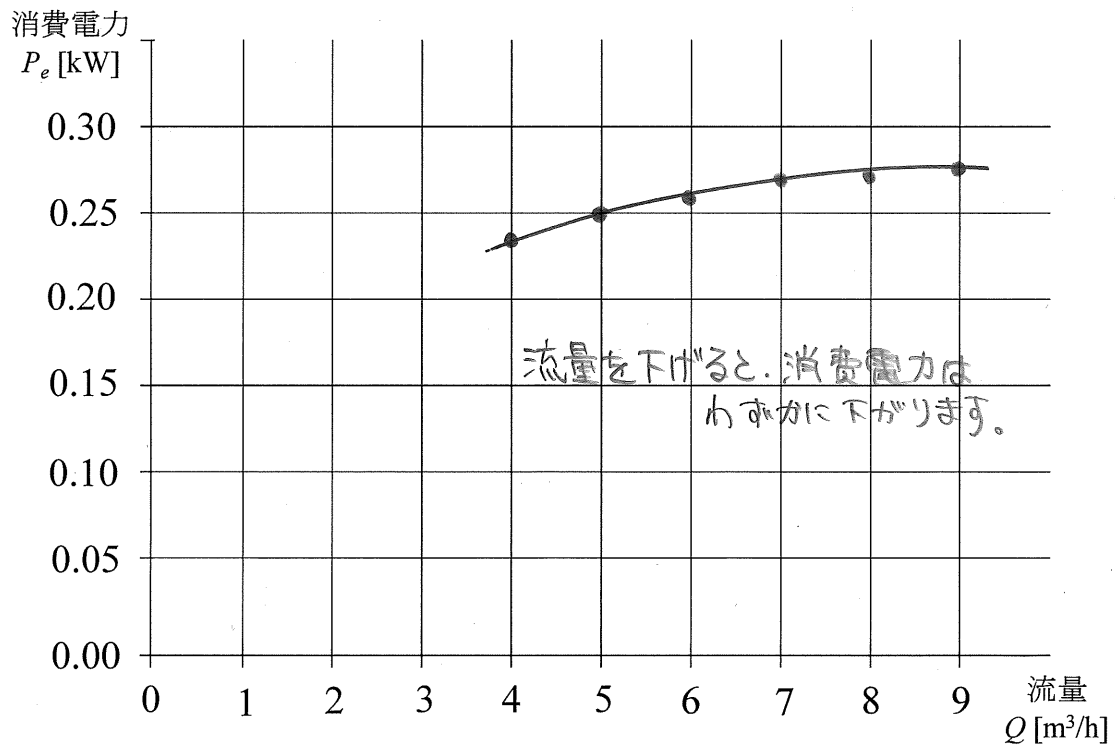
ポンプ実習装置測定結果

実習 1) バルブ制御におけるポンプ揚程の測定

インバータの出力周波数を 60Hz (一定) にし、流量調整バルブを可変することによって流量を調整し、以下の表をうめよ。

測定 表 1 バルブ制御における流量と消費電力

流量 Q [m ³ /h]	圧力計 P_p [MPa]	連成計 P_v [MPa]	消費電力 P_e [kW]
8.5	0.053	-0.025	0.274
8.0	0.060	-0.023	0.271
7.0	0.077	-0.020	0.269
6.0	0.105	-0.012	0.254
5.0	0.118	-0.009	0.247
4.0	0.132	-0.006	0.233



計算

毎分流量 : $Q_{min} [m^3/min] = \text{毎時流量 } Q [m^3/h] \div 60 \text{ min/h}$

吐出し揚程 : $H_p [m] = \text{圧力計の読み } P_p [MPa] \times \underbrace{10.33 \text{ mH}_2\text{O} \div 0.1013 \text{ MPa/atm}}$

吸出し揚程 : $H_v [m] = \text{連成計の読み } P_p [MPa] \times \underbrace{10.33 \text{ mH}_2\text{O} \div 0.1013 \text{ MPa/atm}}$
 102.0

圧力計の位置水頭 : $h [m] = \text{ポンプ中心から圧力計の管の分岐部分までの垂直距離 (0.57 m)}$

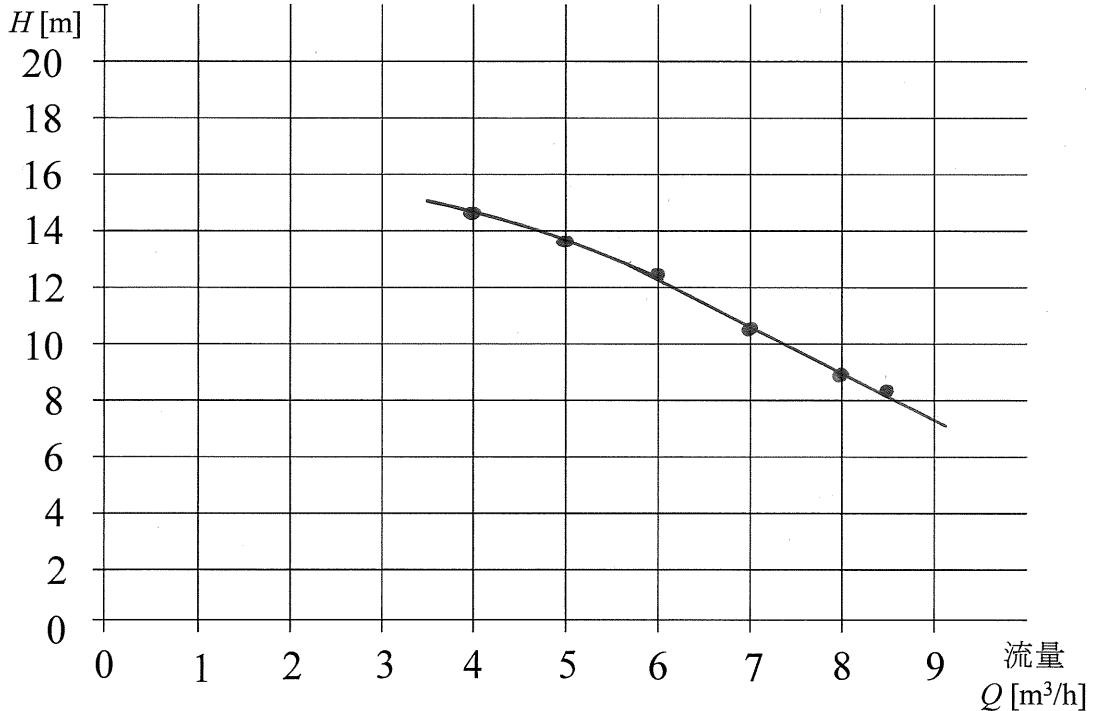
ポンプ揚程 : $H [m] = \text{吐出し揚程 } H_p [m] - \text{吸出し揚程 } H_v [m] + \text{圧力計の位置水頭 } h [m]$

水動力 : $P [kW] = 0.163 \times \text{毎分流量 } Q_{min} [m^3/min] \times \text{ポンプ揚程 } H [m]$

表2 バルブ制御における流量と揚程・水動力

毎時流量 $Q [m^3/h]$	毎分流量 $Q_{min} [m^3/min]$	吐出し揚程 $H_p [m]$	吸出し揚程 $H_v [m]$	ポンプ揚程 $H [m]$	水動力 $P [kW]$
8.5	0.142	5.40	-2.55	8.52	0.197
8.0	0.133	6.12	-2.34	9.03	0.196
7.0	0.117	7.85	-2.04	10.46	0.199
6.0	0.100	10.71	-1.22	12.50	0.204
5.0	0.083	12.03	-0.92	13.52	0.184
4.0	0.067	13.46	-0.61	14.64	0.159

ポンプ揚程



流量を下げると、揚程は増加します。
バルブを閉めることで、管路の抵抗が
増加するためです。

※ 数値の補足説明

10.33 mH₂O

温度 4 °C の水は、1 気圧の大気中では、ポンプで吸い上げるときに最大 10.33m までしか上昇させることはできない(水銀 Hg であれば 760mm がこれに相当 し、760mmHg と書く)。すなわち、1 気圧は 10.33 mH₂O に相当する (1 atm = 10.33 mH₂O)。

0.1013 MPa

地球上の平均気圧は 1013 hPa であり、単位を MPa にすると 0.1013 MPa になる。
つまり、1 atm = 0.1013 MPa = 10.33 mH₂O なので、1 MPa = 10.33 ÷ 0.1013 となる。

0.163QH

位置エネルギーは mgh [J] で計算できる。水の質量 m は 1m³ で 1000 kg である。流速が毎秒 Q [m³] であるとする、1000 Q [kg/s]。重力加速度は $g=9.8\text{m/s}^2$ 。

よって、1 秒当たりの位置エネルギー [J] = 1000 Q [kg] × 9.8 m/s² × h 。

ここで、1 秒当たりのエネルギーは、仕事率であって、単位が W になる。さらに 1000 で割って単位を kW に、また 60 で割って、流量の単位を毎分とすると、

ポンプの水動力 [kW] = 1000 Q [kg/s] × 9.8 m/s² × h ÷ 1000 ÷ 60 = 0.163 × Q × H 。

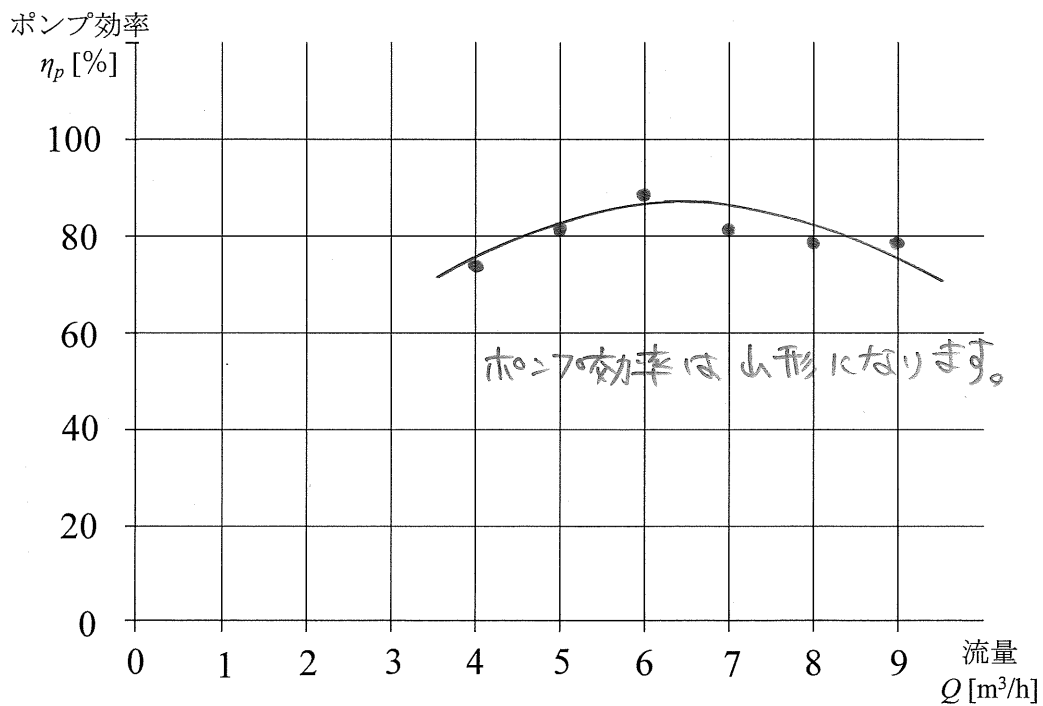
計算

軸動力: P_{in} [kW] = 消費電力 P_e [kW] ÷ 伝達係数 1.1

ポンプ効率: η_p [%] = 水動力 P [kW] ÷ 軸動力 P_{in} [kW] × 100

表3 バルブ制御における流量とポンプ効率

流量 Q [m ³ /h]	水動力 P [kW]	軸動力 P_{in} [kW]	ポンプ効率 η_p [%]
8.5	0.197	0.249	79.2
8.0	0.196	0.246	79.8
7.0	0.199	0.244	81.4
6.0	0.204	0.231	88.2
5.0	0.184	0.225	81.7
4.0	0.159	0.212	75.1



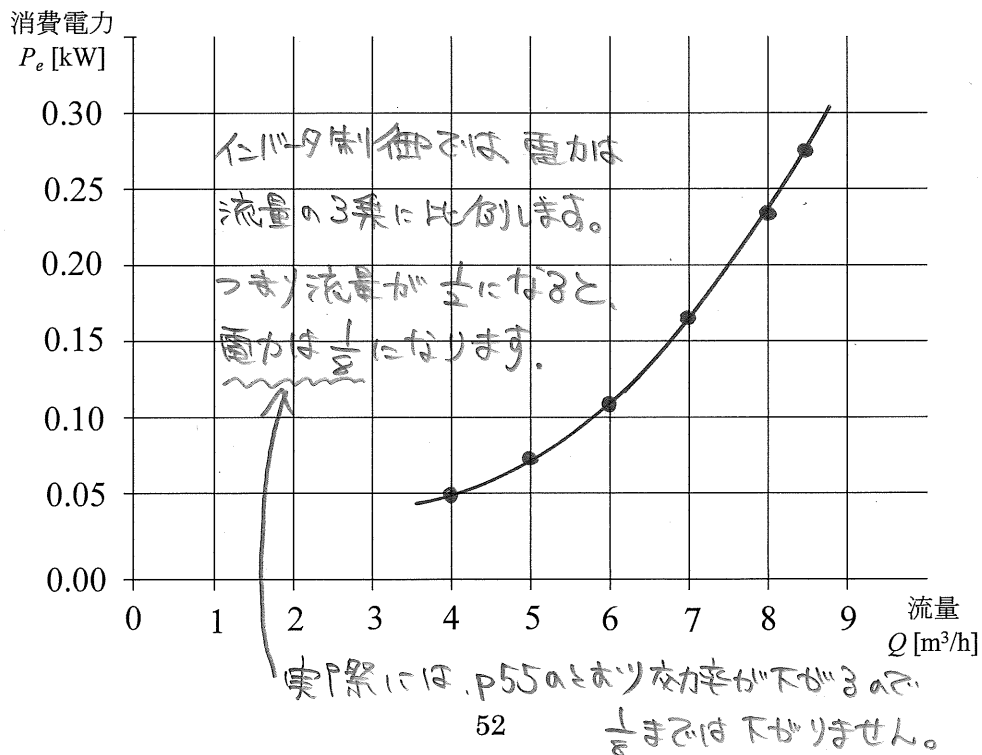
実習 2) インバータ制御におけるポンプ揚程の測定

バルブを全開にしたあと、インバータの出力周波数を変えることによって流量を調整し、以下の表をうめよ。

測定

表 4 インバータ制御における流量と消費電力

流量 Q [m ³ /h]	運転周波数 f [Hz]	圧力計 P_p [MPa]	連成計 P_v [MPa]	消費電力 P_e [kW]
8.5	60.0	0.053	-0.027	0.273
8.0	56.0	0.048	-0.023	0.229
7.0	49.0	0.035	-0.018	0.163
6.0	41.0	0.023	-0.012	0.108
5.0	34.0	0.014	-0.008	0.073
4.0	27.0	0.007	-0.006	0.049



計算

毎分流量 : $Q_{min} [m^3/min] = \text{毎時流量 } Q [m^3/h] \div 60 \text{ min/h}$

吐出し揚程 : $H_p [m] = \text{圧力計の読み } P_p [MPa] \times 10.33 \text{ mH}_2\text{O/atm} \div 0.1013 \text{ MPa/atm}$

吸出し揚程 : $H_v [m] = \text{連成計の読み } P_p [MPa] \times 10.33 \text{ mH}_2\text{O/atm} \div 0.1013 \text{ MPa/atm}$

圧力計の位置水頭 : $h [m] = \text{ポンプ中心から圧力計の管の分岐部分までの垂直距離 (0.57 m)}$

ポンプ揚程 : $H [m] = \text{吐出し揚程 } H_p [m] - \text{吸出し揚程 } H_v [m] + \text{圧力計の位置水頭 } h [m]$

水動力 : $P [kW] = 0.163 \times \text{毎分流量 } Q_{min} [m^3/min] \times \text{ポンプ揚程 } H [m]$

表5 インバータ制御における流量とポンプ揚程・水動力

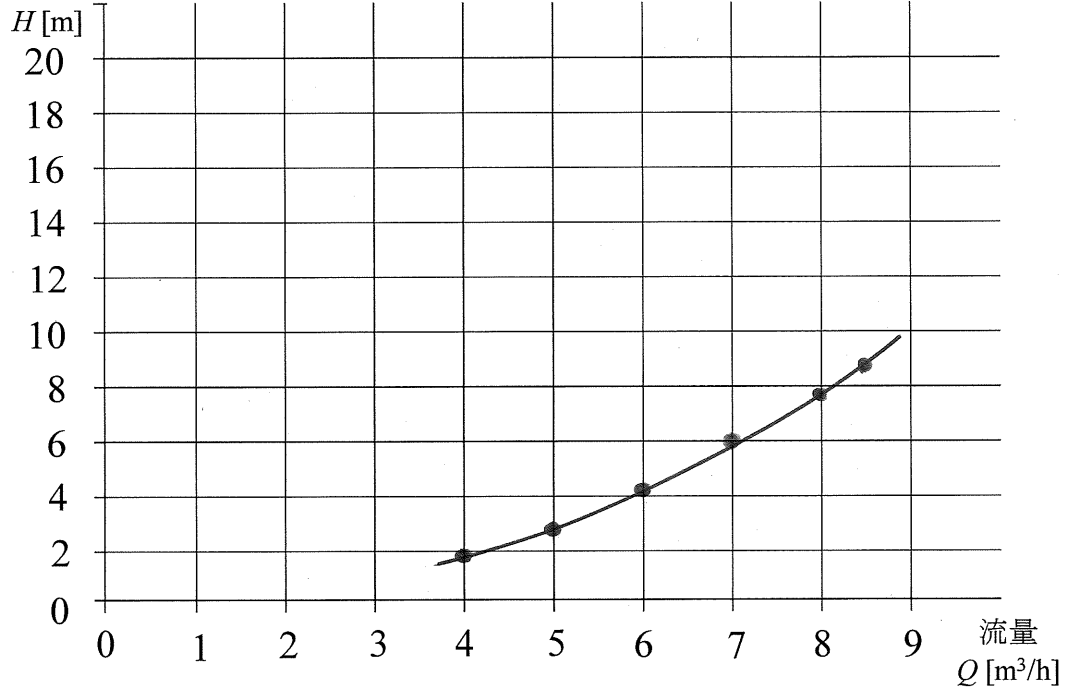
毎時流量 $Q [m^3/h]$	毎分流量 $Q_{min} [m^3/min]$	吐出し揚程 $H_p [m]$	吸出し揚程 $H_v [m]$	ポンプ揚程 $H [m]$	水動力 $P [kW]$
8.5	0.142	5.40	-2.75	8.73	0.202
8.0	0.133	4.90	-2.35	7.81	0.170
7.0	0.117	3.60	-1.84	6.00	0.114
6.0	0.100	2.35	-1.22	4.14	0.068
5.0	0.083	1.43	-0.82	2.81	0.038
4.0	0.067	0.72	-0.61	1.90	0.021

必要水動力は流量の3乗で変化する。

$$\frac{0.021}{0.170} \times 100 = 12.4\%$$

となりおおよそ $\frac{1}{8}$ (=12.5%) に近づきます。

ポンプ揚程



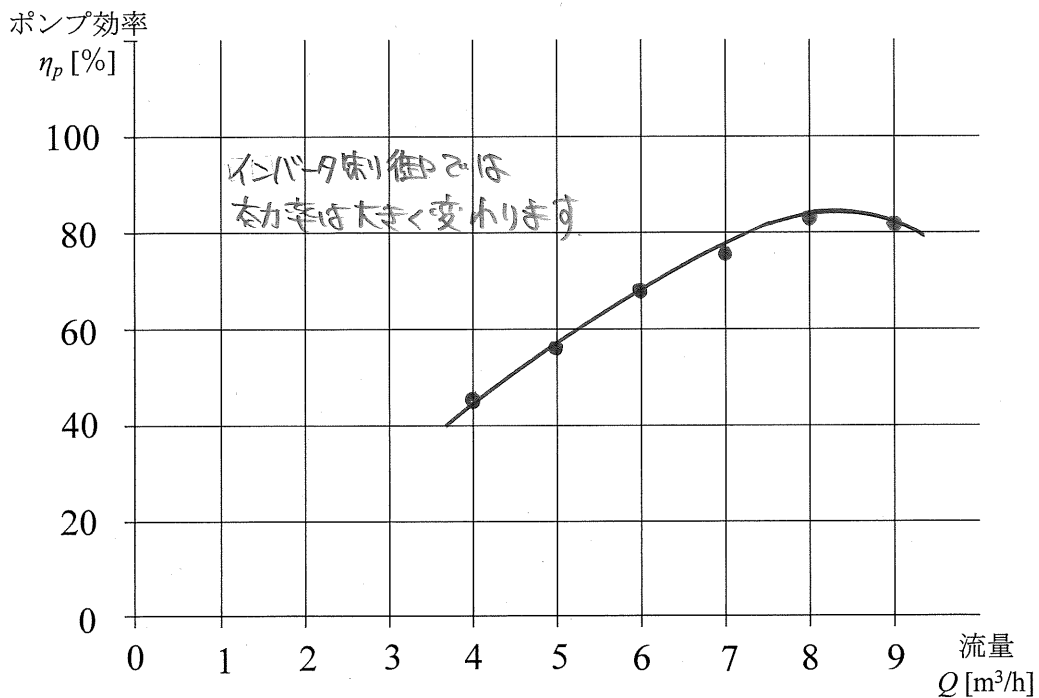
計算

軸動力 : P_m [kW] = 消費電力 P_e [kW] ÷ 伝達係数 1.1

ポンプ効率 : η_p [%] = 水動力 P [kW] ÷ 軸動力 P_m [kW] × 100

表6 インバータ制御における流量と効率

流量 Q [m ³ /h]	水動力 P [kW]	軸動力 P_m [kW]	ポンプ効率 η_p [%]
8.5	0.202	0.249	81.1
8.0	0.170	0.208	81.5
7.0	0.114	0.149	76.9
6.0	0.068	0.098	68.9
5.0	0.038	0.066	57.8
4.0	0.021	0.045	46.0



実習 3) Q - H 曲線の作成

以下の要領で、インバータの運転周波数が 60 Hz・40 Hz のときの、それぞれの Q - H 曲線を作成せよ。

測定

インバータの運転周波数 60 Hz

表 7 インバータ制御における流量と消費電力 (60 Hz)

流量 Q [m ³ /h]	圧力計 P_p [MPa]	連成計 P_v [MPa]	消費電力 P_e [kW]
8.5	0.053	-0.025	0.274
8.0	0.060	-0.023	0.271
7.0	0.077	-0.020	0.269
6.0	0.105	-0.012	0.254
5.0	0.118	-0.009	0.247
4.0	0.132	-0.006	0.233
3.0	0.148	-0.002	0.214

インバータの運転周波数 50 Hz

表 8 インバータ制御における流量と消費電力 (50 Hz)

流量 Q [m ³ /h]	圧力計 P_p [MPa]	連成計 P_v [MPa]	消費電力 P_e [kW]
7.0	0.037	-0.018	0.171
6.0	0.052	-0.013	0.168
5.0	0.072	-0.009	0.164
4.0	0.086	-0.006	0.155
3.0	0.097	-0.002	0.144

インバータの運転周波数 40 Hz

表 8 インバータ制御における流量と消費電力 (40 Hz)

流量 Q [m ³ /h]	圧力計 P_p [MPa]	連成計 P_v [MPa]	消費電力 P_e [kW]
5.0	0.029	-0.010	0.097
4.0	0.045	-0.006	0.093
3.0	0.055	-0.003	0.088

計算 インバータの運転周波数 60 Hz

毎分流量 : $Q_{min} [m^3/min] = \text{毎時流量 } Q [m^3/h] \div 60 \text{ min/h}$

吐出し揚程 : $H_p [m] = \text{圧力計の読み } P_p [MPa] \times 10.33 \text{ mH}_2\text{O/atm} \div 0.1013 \text{ MPa/atm}$

吸出し揚程 : $H_v [m] = \text{連成計の読み } P_p [MPa] \times 10.33 \text{ mH}_2\text{O/atm} \div 0.1013 \text{ MPa/atm}$

圧力計の位置水頭 : $h [m] = \text{ポンプ中心から圧力計の管の分岐部分までの垂直距離 (0.57 m)}$

ポンプ揚程 : $H [m] = \text{吐出し揚程 } H_p [m] - \text{吸出し揚程 } H_v [m] + \text{圧力計の位置水頭 } h [m]$

水動力 : $P [kW] = 0.163 \times \text{毎分流量 } Q_{min} [m^3/min] \times \text{ポンプ揚程 } H [m]$

表9 インバータ制御における流量とポンプ揚程・水動力 (60 Hz)

毎時流量 $Q [m^3/h]$	毎分流量 $Q_{min} [m^3/min]$	吐出し揚程 $H_p [m]$	吸出し揚程 $H_v [m]$	ポンプ揚程 $H [m]$	水動力 $P [kW]$
8.5	0.142	5.40	-2.55	8.52	0.197
8.0	0.133	6.12	-2.35	9.03	0.196
7.0	0.117	7.85	-2.04	10.46	0.200
6.0	0.100	10.71	-1.22	12.50	0.204
5.0	0.083	12.03	-0.92	13.52	0.184
4.0	0.067	13.46	-0.61	14.64	0.159
3.0	0.050	15.09	-0.20	15.87	0.129

計算 インバータの運転周波数 50 Hz

毎分流量 : $Q_{min} [m^3/min] = \text{毎時流量 } Q [m^3/h] \div 60 \text{ min/h}$

吐出し揚程 : $H_p [m] = \text{圧力計の読み } P_p [MPa] \times 10.33 \text{ mH}_2\text{O/atm} \div 0.1013 \text{ MPa/atm}$

吸出し揚程 : $H_v [m] = \text{連成計の読み } P_p [MPa] \times 10.33 \text{ mH}_2\text{O/atm} \div 0.1013 \text{ MPa/atm}$

圧力計の位置水頭 : $h [m] = \text{ポンプ中心から圧力計の管の分岐部分までの垂直距離 (0.57 m)}$

ポンプ揚程 : $H [m] = \text{吐出し揚程 } H_p [m] - \text{吸出し揚程 } H_v [m] + \text{圧力計の位置水頭 } h [m]$

水動力 : $P [kW] = 0.163 \times \text{毎分流量 } Q_{min} [m^3/min] \times \text{ポンプ揚程 } H [m]$

表 10 インバータ制御における流量とポンプ揚程・水動力 (50 Hz)

毎時流量 $Q [m^3/h]$	毎分流量 $Q_{min} [m^3/min]$	吐出し揚程 $H_p [m]$	吸出し揚程 $H_v [m]$	ポンプ揚程 $H [m]$	水動力 $P [kW]$
7.0	0.117	3.77	-1.84	6.18	0.118
6.0	0.100	5.30	-1.33	7.20	0.117
5.0	0.083	7.34	-0.92	8.83	0.120
4.0	0.067	8.77	-0.61	9.95	0.108
3.0	0.050	9.89	-0.20	10.67	0.087

計算 インバータの運転周波数 40 Hz

毎分流量 : $Q_{min} [m^3/min] = \text{毎時流量 } Q [m^3/h] \div 60 \text{ min/h}$

吐出し揚程 : $H_p [m] = \text{圧力計の読み } P_p [\text{MPa}] \times 10.33 \text{ mH}_2\text{O/atm} \div 0.1013 \text{ MPa/atm}$

吸出し揚程 : $H_v [m] = \text{連成計の読み } P_p [\text{MPa}] \times 10.33 \text{ mH}_2\text{O/atm} \div 0.1013 \text{ MPa/atm}$

圧力計の位置水頭 : $h [m] = \text{ポンプ中心から圧力計の管の分岐部分までの垂直距離 (0.57 m)}$

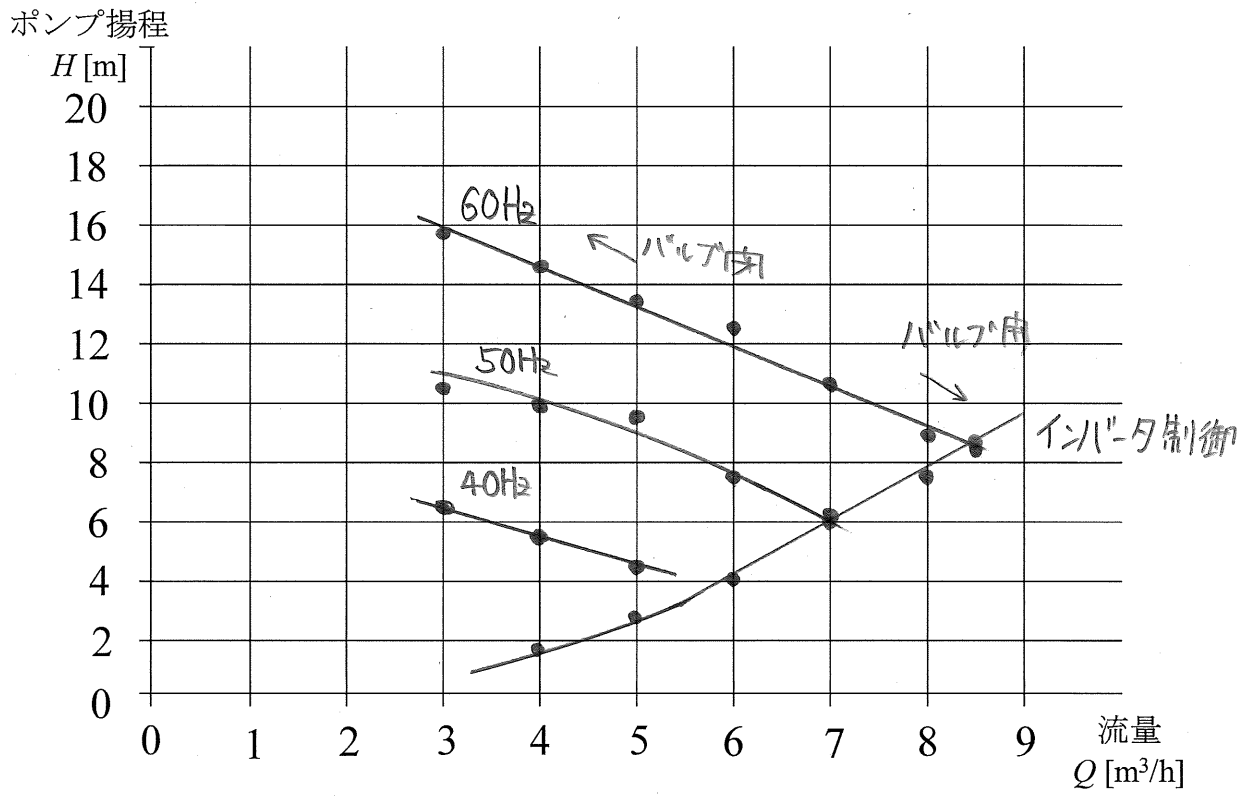
ポンプ揚程 : $H [m] = \text{吐出し揚程 } H_p [m] - \text{吸出し揚程 } H_v [m] + \text{圧力計の位置水頭 } h [m]$

水動力 : $P [\text{kW}] = 0.163 \times \text{毎分流量 } Q_{min} [m^3/min] \times \text{ポンプ揚程 } H [m]$

表 11 インバータ制御における流量とポンプ揚程・水動力 (40 Hz)

毎時流量 $Q [m^3/h]$	毎分流量 $Q_{min} [m^3/min]$	吐出し揚程 $H_p [m]$	吸出し揚程 $H_v [m]$	ポンプ揚程 $H [m]$	水動力 $P [\text{kW}]$
5.0	0.083	2.96	-1.20	4.55	0.062
4.0	0.067	4.59	-0.61	5.77	0.063
3.0	0.050	5.61	-0.31	6.49	0.053

60 Hz (表 9)・50 Hz (表 10)・40 Hz (表 11) のときの各ポンプ揚程と、流量を変化させた時の Q - H 特性 (表 5) を記入せよ。



投資効果の検証

バルブ制御の消費電力 P_e [kW] : 表 1 を参照

インバータ制御の消費電力 P_e [kW] : 表 4 を参照

1 時間電力料金 [円] = 消費電力 P_e [kW] \times 15 円/kWh

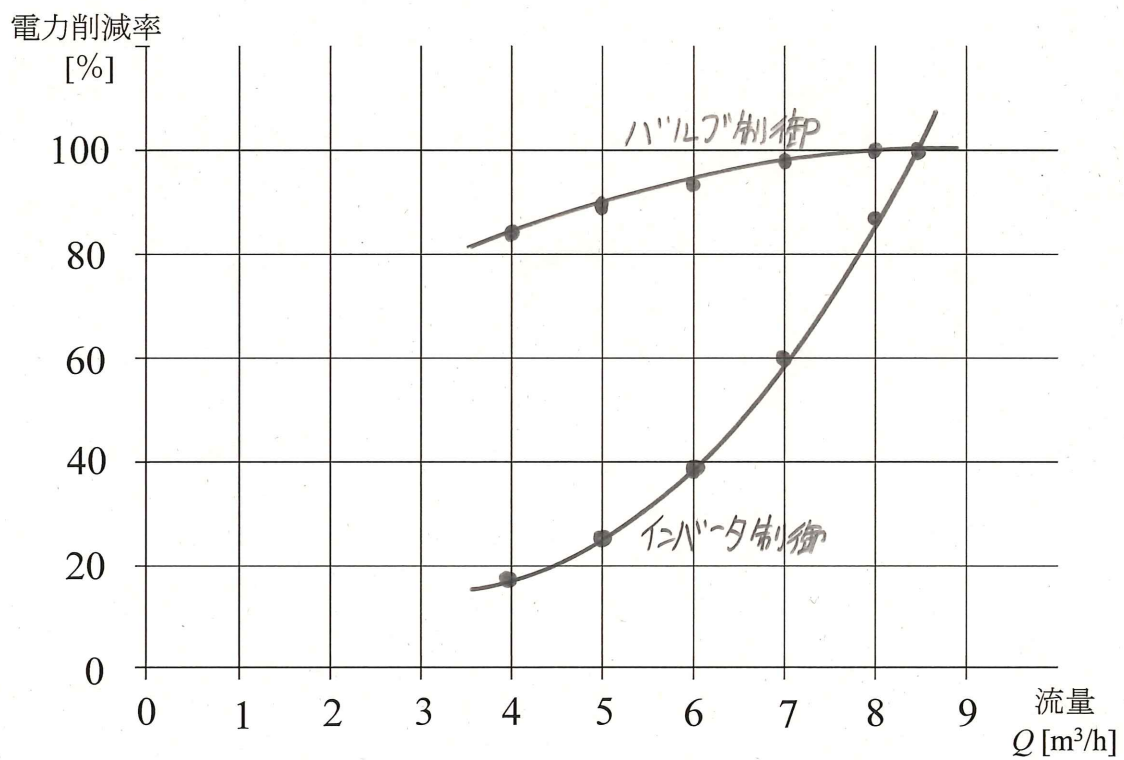
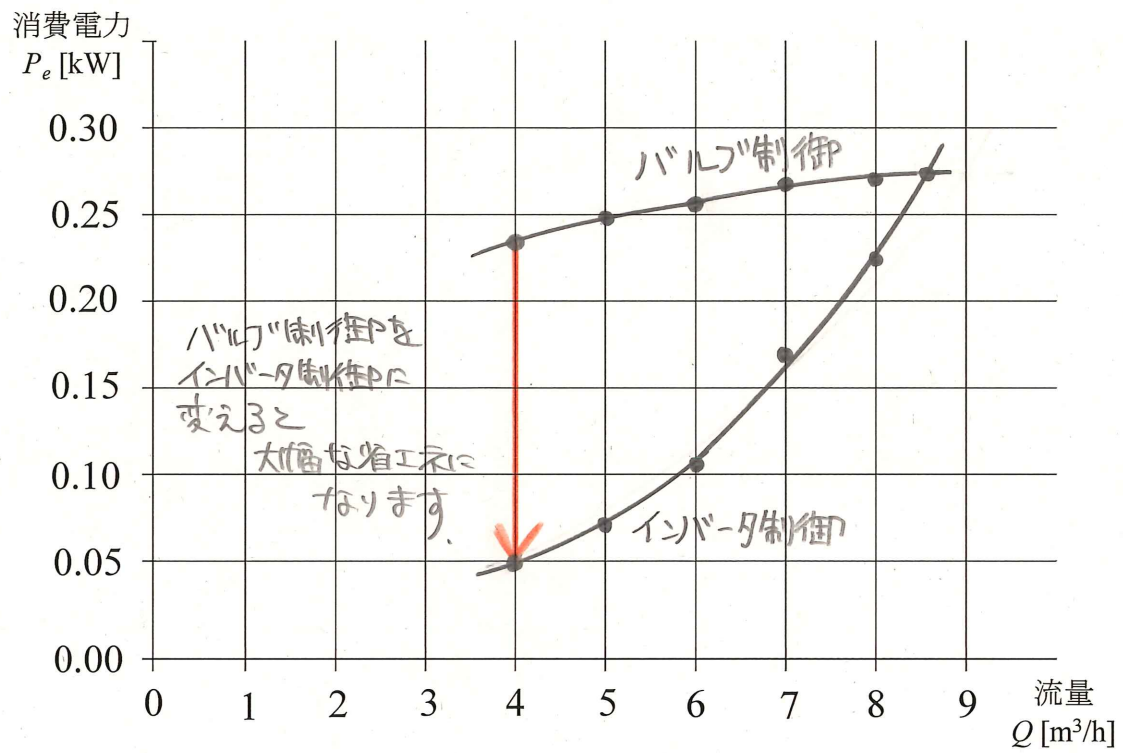
電力削減率 [%] = 消費電力 P_e [kW] \div (流量 $Q = 8.5\text{m}^3/\text{h}$ のときの消費電力 P_e [kW]) \times 100

表 12 バルブ制御における消費電力

流量 Q [m ³ /h]	消費電力 P_e [kW]	1 時間電力料金 [円]	電力削減率 [%]
8.5	0.274	4.10	100
8.0	0.271	4.06	98.9
7.0	0.269	4.03	98.3
6.0	0.254	3.81	92.9
5.0	0.247	3.71	90.4
4.0	0.233	3.50	85.3

表 13 インバータ制御における消費電力

流量 Q [m ³ /h]	消費電力 P_e [kW]	1 時間電力料金 [円]	電力削減率 [%]
8.5	0.273	4.10	100
8.0	0.229	3.43	83.8
7.0	0.163	2.45	59.8
6.0	0.108	1.62	39.4
5.0	0.073	1.09	26.5
4.0	0.049	0.74	18.0



- 流量が4 m³/hのときについて、バルブ制御からインバータ制御へ変更した時の投資対効果を検証せよ。

消費電力 P_e [kW]の削減量=バルブ制御の消費電力-インバータ制御の消費電力

1時間電力料金 [円]の削減量=バルブ制御の料金-インバータ制御の料金

消費電力 P_e [kW]の削減率=インバータ制御の消費電力÷バルブ制御の消費電力×100

1時間電力料金 [円]の削減率=インバータ制御の料金÷バルブ制御の料金×100

表 14 制御方式による消費電力の比較

方式	消費電力 P_e [kW]	1時間電力料金 [円]
バルブ制御	0.233	3.50
インバータ制御	0.049	0.74
削減量	0.184	2.76
削減率	21.1 %	21.1 %

効果金額の計算

以下の工場で、バルブ制御からインバータ制御へ変更した。流量はともに 4 m³/h のときについて、投資金額よりも省エネで削減できた金額が上回るのは、変更から何年経過した時か計算せよ。

想定する工場

インバータ盤の金額：50,000 円 (0.4 kW インバータ)

電力量単価：15 円/kWh

1 年の工場の操業時間：1 日 24 時間、365 日稼働

1 年間の削減電力量[kWh]=消費電力 P_e [kW]の削減量×24 時間×365 日

1 年間の電気料金削減金額[円]=1 年間の削減電力量[kWh]×電力量単価 15 円/kWh

投資回収にかかる時間[年]=インバータ盤の金額 50,000 円÷1 年間の電気料金削減金額[円]

1 年間の削減電力量[kWh]	1 年間の電気料金削減金額[円]	投資回収にかかる時間[年]
1162	24178	2.068 年

2年 + 0.068年
↓ × 12月
0.8164月
↓ × 30.5日
24.9日

よって 2年と 25日ほど
回収できる。