

第5章 計画例

ここでは、土地改良事業における各種施設の電気設備に関する計画例として、次の具体例について述べる。

- (1) 用水ポンプ場……………高圧受電
- (2) 排水ポンプ場……………低圧受電＋非常用発電装置

5.1 用水ポンプ場(高圧受電)

5.1.1 基本事項

(1) 機場諸元

用 途 水田かんがい用
 ポンプ形式 両吸込渦巻ポンプ
 制 御 方 式 回転数制御
 運 転 期 間 4月～9月
 場 所 50〔Hz〕地区 東京電力管内

(2) 負荷表

表 5.1-1 に本機場の負荷表を示す。

本負荷表は、機械設備の設計段階で作成されるものである。

ポンプ用主電動機は、速度制御を行う目的で巻線形電動機としている。

表 5.1-1 負荷表

No	負 荷 名 称	単 機 容 量 P[kW]	電 圧 〔V〕	連 続	間 欠	設 備 台 数	予 備 台 数	実 働 容 量 P ₀ [kW]	非常用発電装置		備 考
									対象台数	対象容量 〔kW〕	
1	主ポンプ	510	6000	○		2		1020			巻線形
2	吐出弁	0.75	200		○	2		1.50			
3	抵抗機操作用電動機	0.4	200	○		2		0.80			
4	冷却水ポンプ	3.7	200	○		2	1	3.70			
5	オートストレーナ	0.2	200	○		2	1	0.20			
6	屋内排水ポンプ	1.5	200		○	2	1	1.50			
7	給気ファン	0.75	200	○		2		1.50			
8	除塵機	2.2	200	○		1		2.20			
9	流入ゲート	1.5	200		○	1		1.50			
	(単相負荷)										
10	制御電源	2〔kVA〕	200	○		1		2.00			
11	盤内照明	0.2〔kVA〕	100	○		1		0.20			
12	計装電源	1〔kVA〕	100	○		1		1.00			
13	スペースヒータ	2.5〔kVA〕	100	○		1		2.50			
14	テレメータ電源	1.5〔kVA〕	100	○		1		1.50			
	合計										

5.1.2 契約種別の決定

(1) 契約電力の計算

2.2.3 項に述べた計算方法により、契約電力を算出する。

① 負荷設備による計算負荷の種別により入力係数を選定し、まとめると表 5.1-2 となる。

表 5.1-2 入力換算表

No	負 荷 名 称	単機容量 P[kW]	電 圧 [V]	設備 台数	予備 台数	実働容量 P _o [kW]	入力 係数	負荷設備入力 [kW]	備考
1	主ポンプ	510	6000	2		1020	1.176	1199.52	
2	吐出弁	0.75	200	2		1.50	1.25	1.88	
3	抵抗機操作用電動機	0.4	200	2		0.80	1.25	1.00	
4	冷却水ポンプ	3.7	200	2	1	3.70	1.25	4.63	
5	オートストレーナ	0.2	200	2	1	0.20	1.25	0.25	
6	屋内排水ポンプ	1.5	200	2	1	1.50	1.25	1.88	
7	給気ファン	0.75	200	2		1.50	1.25	1.88	
8	除塵機	2.2	200	1		2.20	1.25	2.75	
9	流入ゲート	1.5	200	1		1.50	1.25	1.88	
	動力小計							1215.67	
	(単相負荷)								
10	制御電源	2 [kVA]	200	1		2.00	1.00	2.00	
11	盤内照明	0.2 [kVA]	100	1		0.20	1.00	0.20	
12	計装電源	1 [kVA]	100	1		1.00	1.00	1.00	
13	スペースヒータ	2.5 [kVA]	100	1		2.50	1.00	2.50	
14	テレメータ電源	1.5 [kVA]	100	1		1.50	1.00	1.50	
	単相小計							7.20	
	合計								

a の計算

項目		入力換算	圧縮率	圧縮後
最大 入力 の もの か ら	最初の2台の入力につき	1199.52	100%	$1199.52 \times 1.0 = 1199.52$
	次の2台の入力につき	4.63	95%	$4.63 \times 0.95 = 4.40$
	上記以外のものの入力につき	11.52 7.20	90%	$11.52 \times 0.9 = 10.4$ $7.20 \times 0.9 = 6.5$
合計 [kW]				1220.8

b の計算

項目	圧縮率	圧縮後	残り容量
最初の 6kW	100%	$6 \times 1.0 = 6$	$1220.8 - 6 = 1214.8$
次の 14kW	90%	$14 \times 0.9 = 12.6$	$1214.8 - 14 = 1200.8$
次の 30kW	80%	$30 \times 0.8 = 24$	$1200.8 - 30 = 1170.8$
次の 100kW	70%	$100 \times 0.7 = 70$	$1170.8 - 100 = 1070.8$
次の 150kW	60%	$150 \times 0.6 = 90$	$1070.8 - 150 = 920.8$
次の 200kW	50%	$200 \times 0.5 = 100$	$920.8 - 200 = 720.8$
500kW を 超える部分	30%	$720.8 \times 0.3 = 216.2$	
合計 [kW]		518.8	

よって、負荷設備による計算の契約電力は小数点1位を四捨五入し、519 [kW] となる。

②受電設備による計算

受電設備は、受電電圧より降圧するための変圧器容量及び受電電圧と同位の電圧で使用する負荷設備の総入力との合計となる。

本計画例においては、動力変圧器と主ポンプ用電動機が対象となる。

動力変圧器 50 [kW] = 50 [kW] (5.1.7 項変圧器容量計算結果による)

主ポンプ用電動機 600 [kW] $\times 2 = 1200$ [kW] (表 5.1-2 による)

合計 1,250 [kW]

ここで、動力変圧器：契約受電設備の総容量については、1VA を 1W とみなす。

よって、50 [kVA] → 50 [kW] となる。

主ポンプ用電動機：510kW $\times 1.176 = 599.76$ [kW] → 600 [kW] となる。

合計値 1,250 [kW] に係数を乗じて契約電力を求める。

項目	圧縮率	圧縮後	残り容量
最初の 50 キロワットにつき	80%	$50 \times 0.8=40$	$1,250-50=1,200$
次の 50 キロワットにつき	70%	$50 \times 0.7=35$	$1,200-50=1,150$
次の 200 キロワットにつき	60%	$200 \times 0.6=120$	$1,150-200=950$
次の 300 キロワットにつき	50%	$300 \times 0.5=150$	$950-300=650$
600 キロワットを 超える部分につき	40%	$650 \times 0.4=260$	
合計 [kW]		605	

よって、受電設備による計算の契約電力は 605 [kW] となる。

③契約電力の決定

負荷設備による計算値 519 [kW] 及び受電設備による計算値 605 [kW] のうち、小さい方の値が 519 [kW] となり、50 [kW] 以上となるので、正式な契約電力の値は、使用する負荷設備及び受電設備の内容、同一業種の負荷率、操業度等を基準として、電力会社との協議によって定める。

(2) 契約種別の選定

50 [kW] 以上となるので、契約種別としては、高圧受電となる。

5.1.3 配電方式の決定

(1) 配電電圧と配電方式

図 2.4-2 の選定フローにしたがって、次の条件を与えると、図 5.1-1 の太線のフローとなる。

- ①契約電力 50 [kW] 以上
- ②主電動機単機容量 510 [kW]
- ③契約電力 2,000 [kW] 未満
- ④今回の負荷構成では配電電圧を 6 [kV] とする方が経済的

結論として、方式(1)の 6 [kV] / 6 [kV] 配電方式となる。

よって、主電動機電圧は 6 [kV] とし、補機用電動機電圧は小容量の一般用電動機の標準電圧である 200 [V] とする。

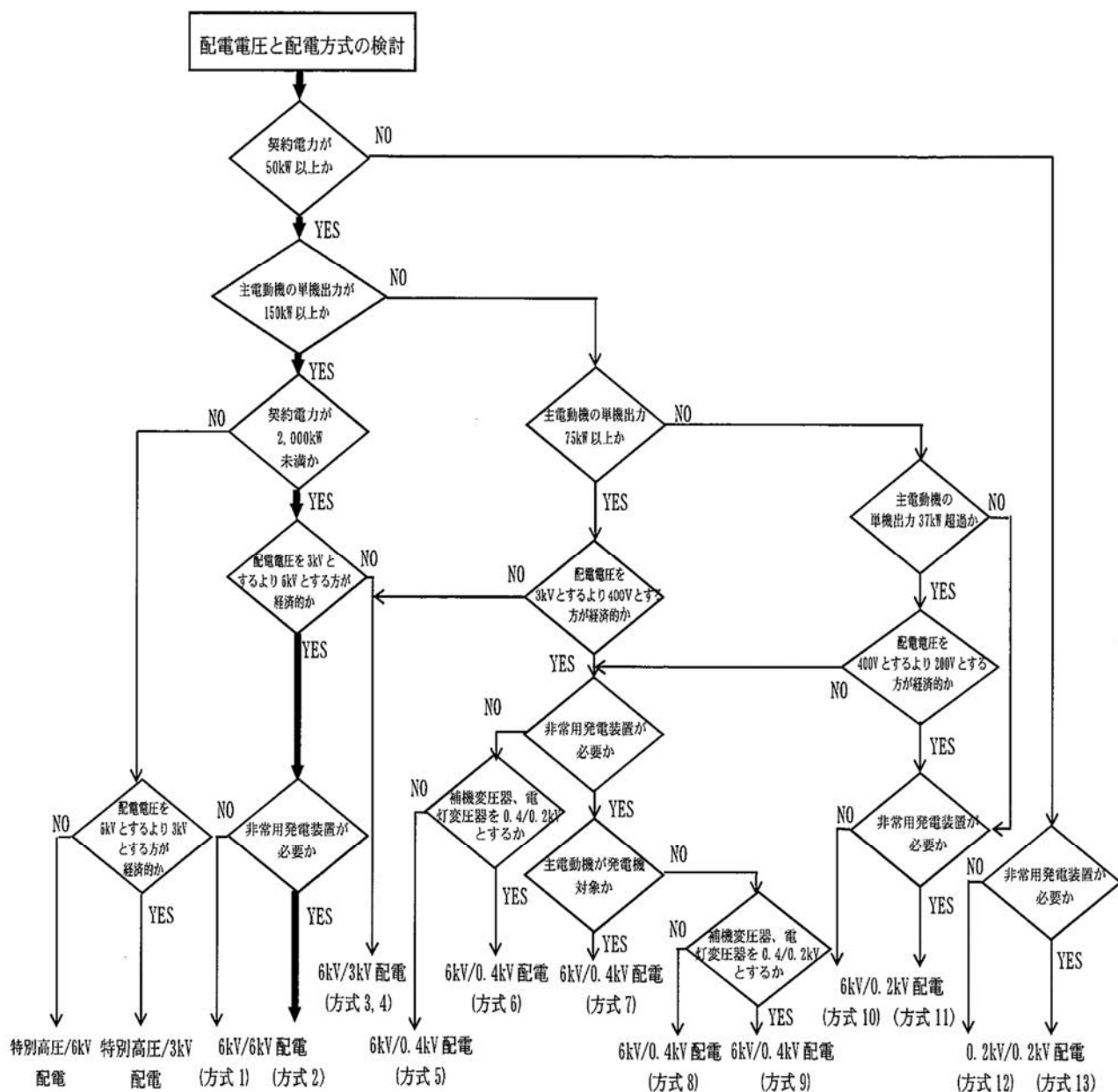


図 5.1-1 配電電圧と配電方式選定フロー図

5.1.4 力率改善方式

- (1) 主電動機の力率改善用として電動機に並列に進相コンデンサを設置する。
式 2.5-4 により計算する。

$$Q_c = P_0 / \eta \times \left\{ \sqrt{(1/\cos^2 \theta_1 - 1)} - \sqrt{(1/\cos^2 \theta_2 - 1)} \right\}$$

$$= 510 / 0.93 \times \left\{ \sqrt{(1/0.82^2 - 1)} - \sqrt{(1/0.95^2 - 1)} \right\}$$

$$= 202.5 \text{ [kvar]}$$

ここで、電動機容量 : $P_0 = 510$ [kW]
効 率 : $\eta = 0.93$ (図 3.1-9 510kW、8P)
改善前力率 : $\cos \theta_1 = 0.82$ (図 3.1-10 510kW、8P)
改善目標力率 : $\cos \theta_2 = 0.95$

以上の計算結果より、進相コンデンサ容量は直近下位の標準容量から 200 [kvar] を選定する。

- (2) 補機用変圧器の力率改善は、その変圧器容量が主電動機と比較して小さいため、変圧器の励磁無効分を無視できるので、行わないこととする。ただし、主機の運転時間が短い場合等、補機用変圧器の励磁無効分が無視できない場合は、補機用変圧器の力率改善用として進相コンデンサを設置する。

5.1.5 高調波対策

本計画例においては、インバータ等の高調波発生機器は設置していないので、高調波対策の必要がない。

5.1.6 保護方式

受電設備及び負荷設備の保護継電器は、2.7.1 及び 2.7.2 の保護方式により下記とする。

回路	名称	用途
受電	瞬時要素付限時過電流継電器 (51R)	受電設備の短絡保護 受電設備の過負荷保護
	地絡方向継電器 (67R) 注 1	受電設備の地絡保護
	不足電圧継電器 (27R) 注 2	主電動機の過負荷防止
主電動機	2 要素継電器 (2E)	主電動機の過負荷及び欠相保護
	地絡方向継電器 (67M)	主電動機の地絡保護

注 1. 受電用地絡継電器は、6 [kV] 引込ケーブルが 100 [mm²] かつ 40 [m] を超えているので、表 2.7-2 により、地絡方向継電器とする。

また、主電動機として 6 [kV] の分岐回路を有するので、多回路用地絡方向継電器とする。

零相電圧を得るために、引込口の柱上気中開閉器に ZPD を内蔵させる。

注 2. 主電動機の電圧低下による過負荷防止用として不足電圧継電器を受電回路に設ける。

5.1.7 変圧器容量計算

補機用変圧器の容量計算は、3.2.4 項によるものとし、本例においては、負荷容量が小さく数が多いので、計算法1で行うことが一般的である。しかし、ここでは、比較のため、計算法2も行ってみる。

計算に使用する数値は、下記により求め、表 5.1-3 に負荷表としてまとめる。

効 率…電動機	参考資料 7.5 項誘導電動機の特性参照
照明、他	0.8
力 率…電動機	0.9（個別に力率改善を行うものとする）
照明	0.833
需 要 率…連続運転負荷	0.9
間欠運転負荷	0.5
照明、その他	0.9（ただし、運転状況による）

始動電流…冷却水ポンプ 3.7 [kW] の時

参考資料 7.5 項誘導電動機の特性を参照し、定格電流(全負荷電流)15.4 [A] を求め、低圧電動機の場合として、定格電流の 714%とする。

$$15.4 \text{ [A]} \times 7.14 = 110 \text{ [A]}$$

(1) 計算法 1 による容量計算

$$\begin{aligned} P_{T1} &= \Sigma(P_s \times \beta) \times \alpha \\ &= 28.91 \times 1.1 \\ &= 31.80 \quad [kVA] \end{aligned}$$

$\Sigma(P_s \times \beta)$: 入力容量 負荷表 5.1-3 における $P_s \times \beta$ の合計値とする
 α : 余裕率 1.1

変圧器容量は表 3.2-4 より直近上位の標準容量から 50 [kVA] を選定する。

(2) 計算法 2 による容量計算

① 定常時に必要な容量 P_{T2-1}

負荷表により有効分 ($P_{in} \times \beta$)、無効分 ($P_q \times \beta$) の合計を求め、次式より定常時に必要な変圧器の容量 P_{T2-1} [kVA] を算出する。

$$\begin{aligned} P_{T2-1} &= \sqrt{(\Sigma(P_{in} \times \beta))^2 + (\Sigma(P_q \times \beta))^2} \times \alpha \\ &= \sqrt{25.92^2 + 11.75^2} \times 1.1 \\ &= 31.3 \quad [kVA] \\ \alpha &: \text{余裕率} \quad 1.1 \end{aligned}$$

② 電動機始動時に必要な容量

最大容量の電動機である冷却水ポンプ 3.7 [kW] を最後に始動する時が最も重負荷になる。

(ア) 基底負荷容量

$$\begin{aligned} P_B &= 25.92 - 4.17 \\ &= 21.75 \quad [kW] \\ P_{qB} &= 11.75 - 2.02 \\ &= 9.73 \quad [kvar] \end{aligned}$$

(イ) 最大電動機始動容量 P_{sms} [kVA]

$$\begin{aligned} P_{sms} &= \sqrt{3} \times V \times I_s \times 10^{-3} \times K \\ &= \sqrt{3} \times 200 \times 110 \times 10^{-3} \times 1.0 \\ &= 38.1 \quad [kVA] \end{aligned}$$

K : 減電圧始動係数を直入始動とし 1.0

(ウ) 電動機の始動容量 P_{ms} [kW]

$$\begin{aligned} P_{ms} &= \text{始動 kVA}(P_{sms}) \times \text{始動力率}(P_{fs}) \\ &= 38.1 \times 0.4 \\ &= 15.24 \quad [kW] \end{aligned}$$

P_{fs} : 始動力率 かご形 : 0.4

(エ) 電動機の始動容量 P_{qms} [kvar]

$$\begin{aligned} P_{qms} &= \text{始動 kVA}(P_{sms}) \times \sqrt{1 - P_{fs}^2} \\ &= 38.1 \times \sqrt{1 - 0.4^2} \\ &= 34.9 \end{aligned}$$

(オ) 始動時の合計容量 (P_s)

$$\begin{aligned} P_s &= \sqrt{(P_B + P_{ms})^2 + (P_{qB} + P_{qms})^2} \times \alpha \\ &= \sqrt{(21.75 + 15.24)^2 + (9.73 + 34.9)^2} \times 1.1 \\ &= 63.8 \text{ [kVA]} \end{aligned}$$

(カ) P_{T2-2} = 始動時の合計容量 / %電圧降下 × 変圧器短絡インピーダンス

$$\begin{aligned} &= 63.8 / 10 \times 4.5 \\ &= 28.8 \text{ [kVA]} \end{aligned}$$

%電圧降下 : 10%

変圧器短絡インピーダンス : 4.5% (表 3.2-7 より)

③結論

上記①と②を比較し、大きい容量をもとに表 3.2-4 より直近上位の標準容量から 50 [kVA] を選定する。

5.1.8 配電盤の構成と選定

(1) 配電盤の選定

3.3.4(1) 配電盤の選定により必要な配電盤を選定する。

選定の過程及び結果を図 5.1-2、表 5.1-4 に示す。

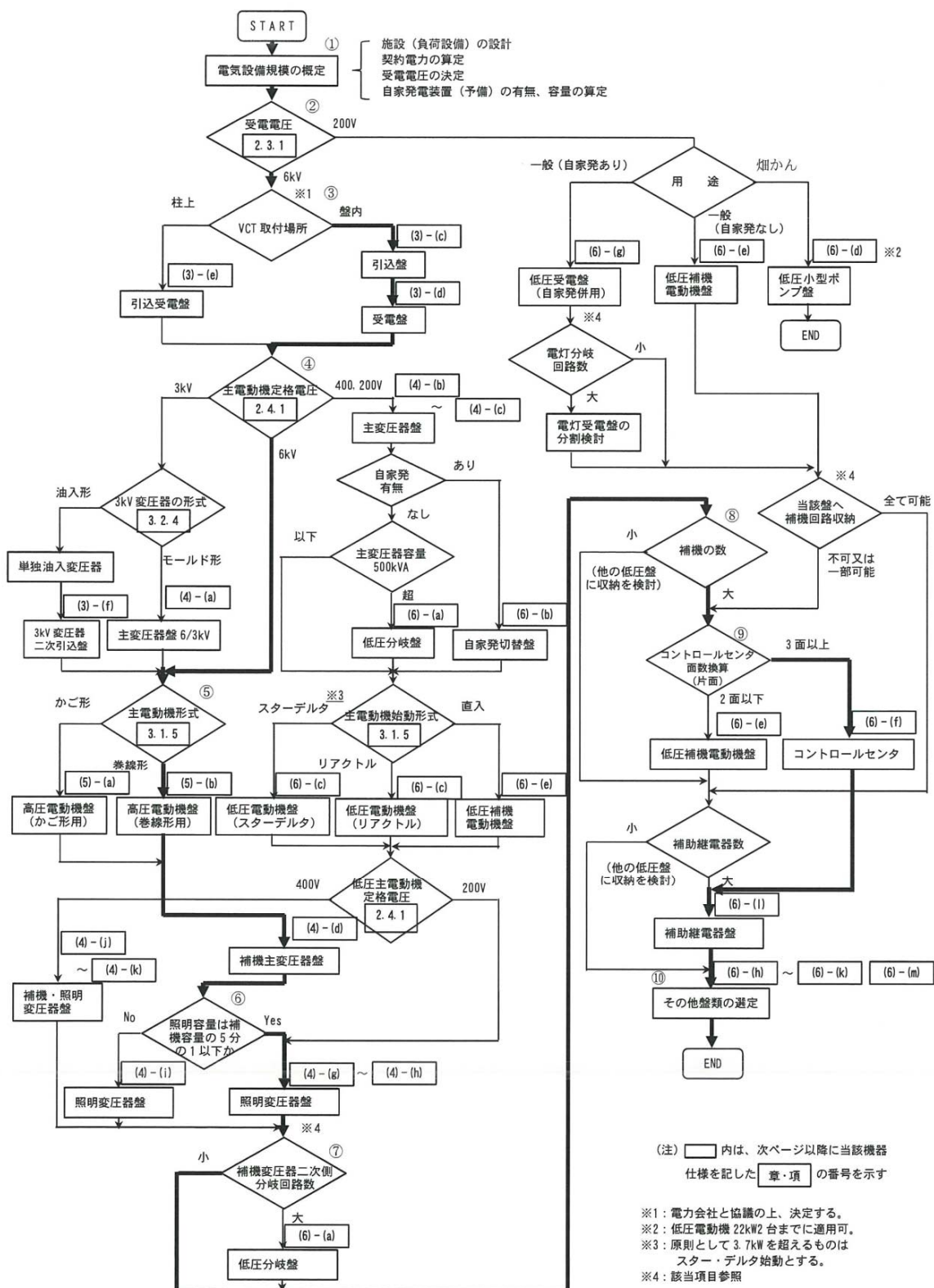


図 5.1-2 電気設備の盤類選定手順フロー図

表 5.1-4 配電盤の選定

No.	項目	選定結果	備考
①	電気設備規模	契約電力 500 [kW] 以上 自家発電装置 無	5.1.2 項の計算結果 用水ポンプ場であり商用停電時の運転不要
②	受電電圧	6 [kV]	契約電力 500 [kW] 以上である
③	VCT 取付場所	盤内 (3)-(c)「引込盤」を選定 (3)-(d)「受電盤」を選定	引込柱に設置する場合と 引込盤内に取付ける場合があるが、本計画例では引込盤内取付けとして計画
④	主電動機定格電圧	6 [kV]	総合比較により 6 [kV] を選定
⑤	主電動機形式	巻線形 (5)-(b)「高圧電動機盤(巻線形用)」を選定 (4)-(d)「補機変圧器盤」を選定	二次抵抗による速度制御を行う
⑥	照明変圧器/ 補機変圧器	20%以下 (4)-(g)「照明変圧器盤(一次 200V)」を選定	
⑦	補機変圧器 二次側分岐回路数	小	収納可能数 10 個に対し、5 個である
⑧	補機の数	大 (6)-(f)「コントロールセンタ」を選定	コントロールセンタで面数を算出すると、 3 面以上となるので、コントロールセンタとする
⑨	補助継電器の数	大 (6)-(1)「補助継電器盤」を選定 「自動制御盤」を選定	補機回路がコントロールセンタである。 主ポンプの水量制御を行うための自動制御回路を収納する
⑩	その他の盤類	(6)-(i)「主ポンプ用機側操作盤」を選定 (6)-(k)「補機用機側操作盤」を選定 (6)-(m)「計装盤」を選定	ポンプ室(B1F)と電気室(2F)が離れているので、ポンプ室に機側操作盤を設ける 所内排水ポンプ機側操作作用 吸水位及び揚水量の記録計を取付ける

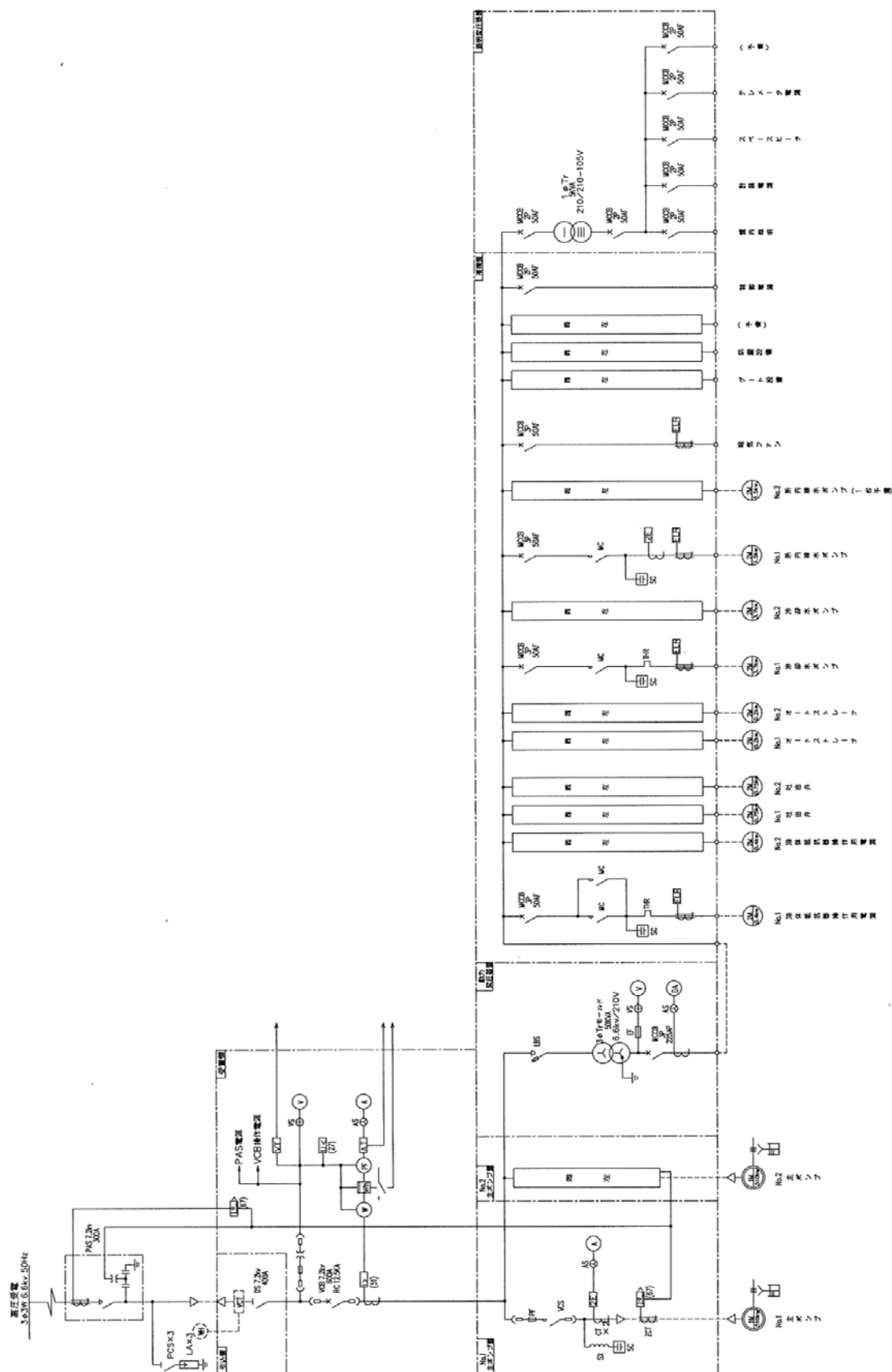


图5.1-3 单线结线图例

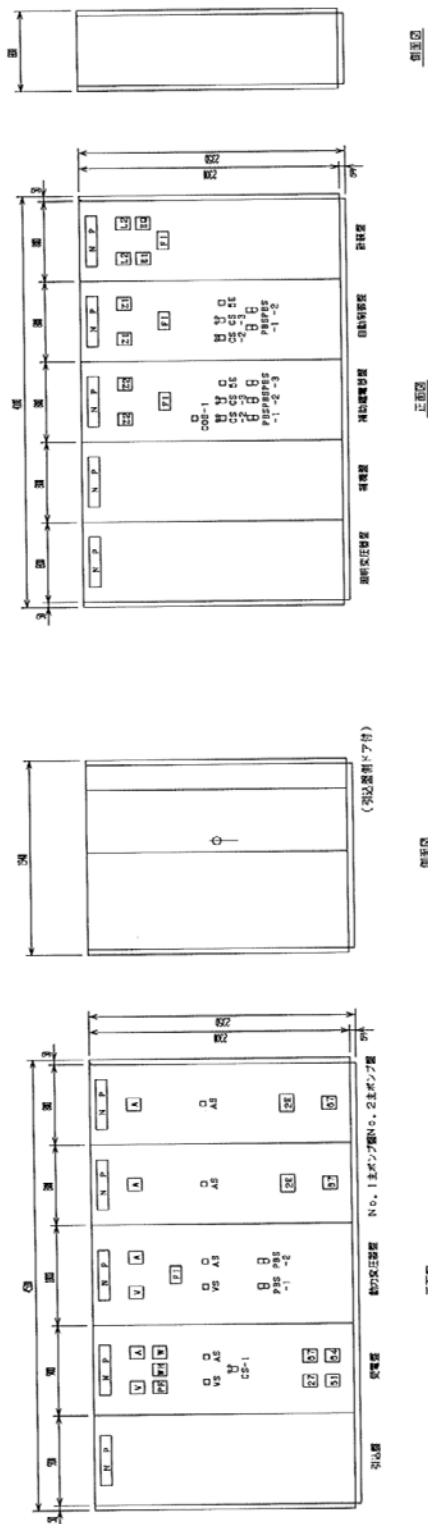
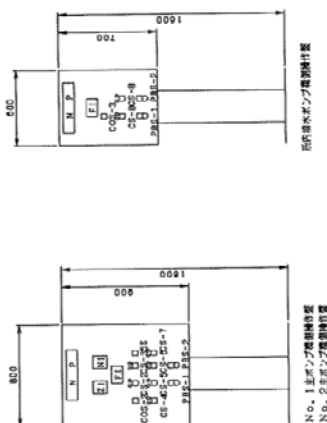
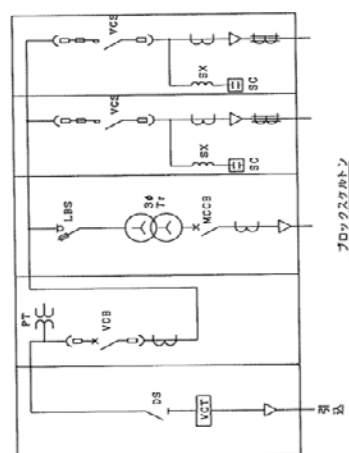
[illegible]

圖 5.1-4 盤外形圖例



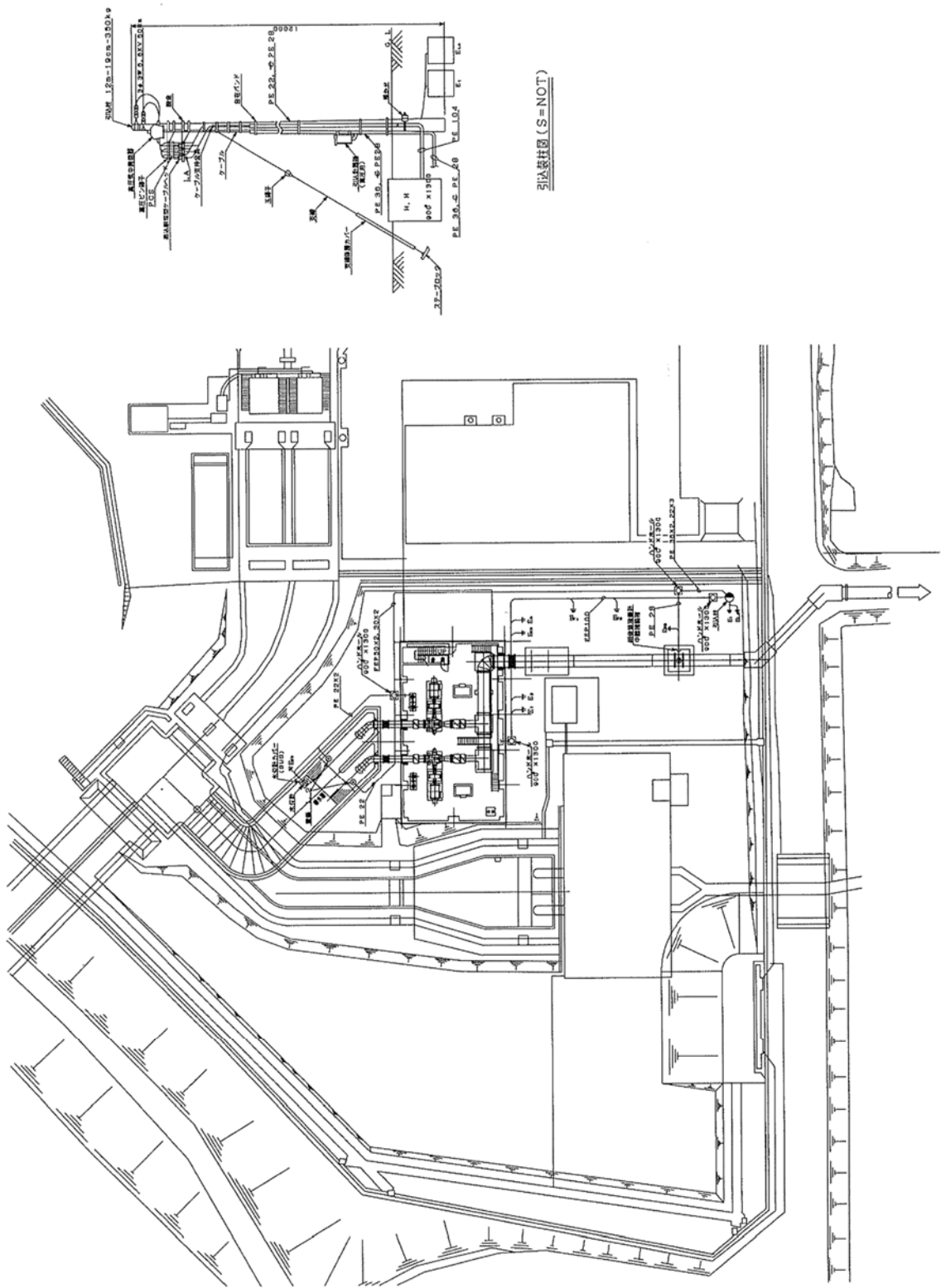


図 5.1-5 全体配線図例

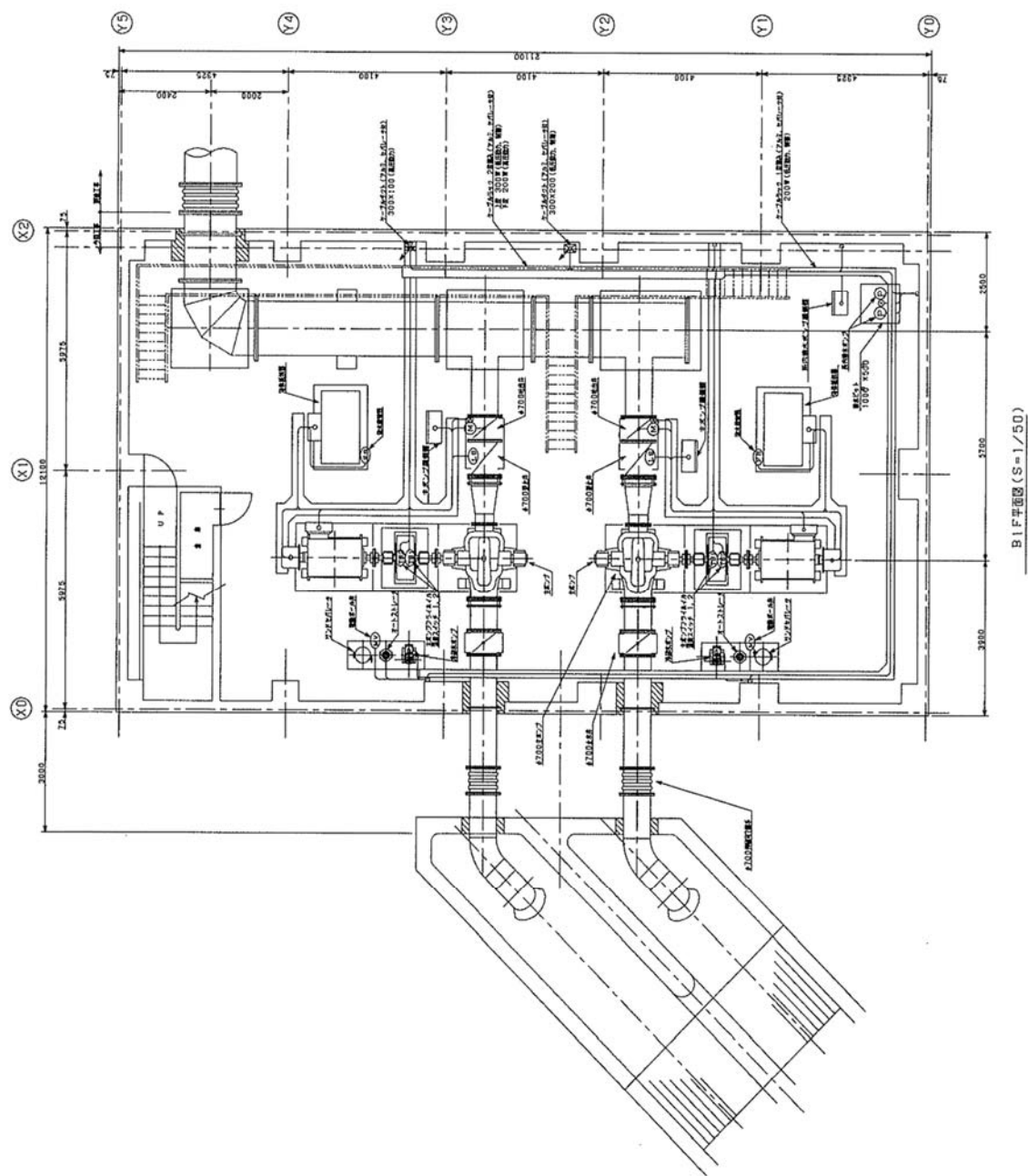


図 5.1-6 ポンプ室配線図例

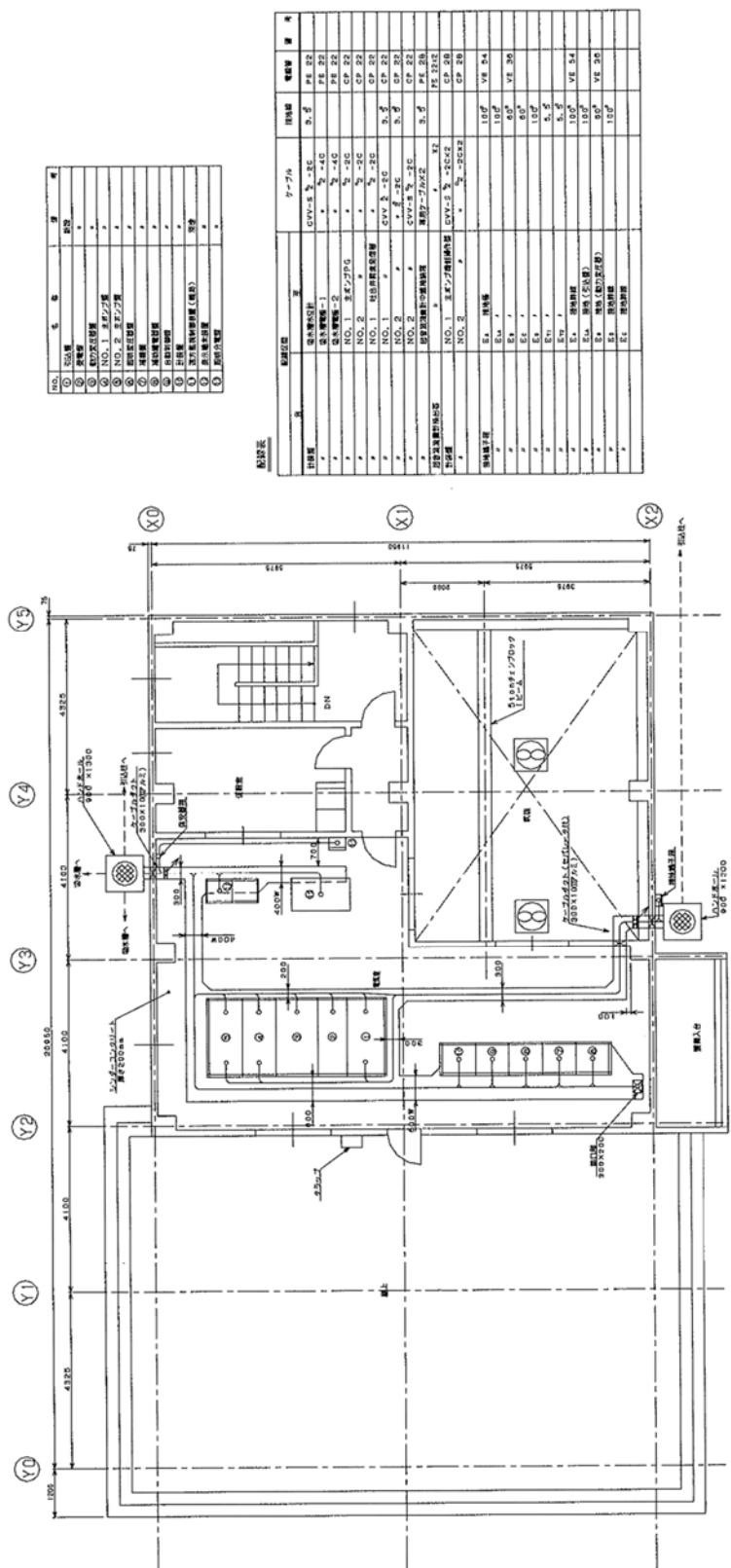


図 5.1-7 電気室配線図例

[illegible]