

圧力タンクを用いた給水装置のユニット化

Tank-pump Units for Automatic Water Supply

館 下 忠 夫*
Tadao Tateshita

要 旨

従来、多く使用されている高架(または高置)タンク方式に代わる圧力タンクを用いた給水装置をユニット化した“ウォーターエース”の内容について紹介する。本給水ユニットは従来の圧力タンクの欠点である“タンク内の空気の減少”に対してポンプの起動停止を利用して自動的に空気を補給する方法で解決している。また圧力タンクの有効容積、起動停止の設定圧力とポンプ特性との間に関連性を持たせて起動頻度(ひんど)を押えているから使用上も安心である。選定方法についても使用最大水量と使用最低圧力から直接選定できるように組合せを決めているから、設備設計が簡単でかつ間違いのないものを選定できるようになった。

1. 緒 言

マンション、アパート、学校、工場、ホテル、事務所、劇場などの建築物に給水する場合、一般には建築物の屋上に高置タンクを設けるか、適当な位置に高い塔を建て、この上に高架タンクを載せて需要末端との落差を利用して給水する高架(高置)タンク方式が用いられている。このような給水方式はきわめて単純であり安定しているが、反面設備費が高く、高所作業を伴い、後日の保守に難点がある。また建造物の美観上思わしくない。

高架(または高置)タンクに代わる給水方式としてはポンプによる直送方式と圧力タンクなどの圧力容器を利用する方式があり、すでに実用化されているが、国内では家庭用の小形のものを別として業務用で給水装置として本格的にまとめられたものがなく、現地でいろいろに組み合わせられている。そのために組み合わせが適切でなかったり、保守管理に手間がかかり過ぎて、運転上も支障が生じ勝ちである。

これらの欠点を解決して、選定上誤りなく、しかも保守の容易な給水装置を提供するため、圧力タンクを用いた給水装置をユニット化(各種実用新案申請中)し、“ウォーターエース”の商品名で昭和45年後半から市場に出して好評を博しているのここにユニット化にあたっての検討事項と製品の内容について紹介する。

2. 圧力タンク方式についての検討

2.1 タンク内空気の一定量確保

圧力タンクを使用する場合、始動前にコンプレッサなどによりタンク内に計算された圧力で空気を封じこむ(初圧を与える)が、長時間使用中に内部の圧縮空気が水に溶けこみ、徐々にタンク内の空気が減少してくる。これを放置するとタンク内の水の有効容積(実際に利用できる水量)が減少してポンプの起動、停止が激しくなってくる。これを防ぐにはタンク外側に設けられた水面計を監視して、空気量が減少したら手動で外部から空気を補給するなり、タンク内に水位検知の電極棒をそう入しておいて自動的にコンプレッサを回して空気を補給する装置が必要である。

“ウォーターエース”の場合は、コンプレッサによらないで

- (1) ポンプの起動の都度、一定量の空気を自動的に圧力タンクに送込み、
- (2) タンク内の空気が一定量に達したら、過剰分の空気を自動的に排出し、
- (3) タンク内の空気量を常に一定に保つ。

方式を採用することにした。使用ポンプが立軸形ポンプ(設備用GMU形水中タービンポンプ)の場合と一般的な横軸形ポンプでは

* 日立製作所習志野工場

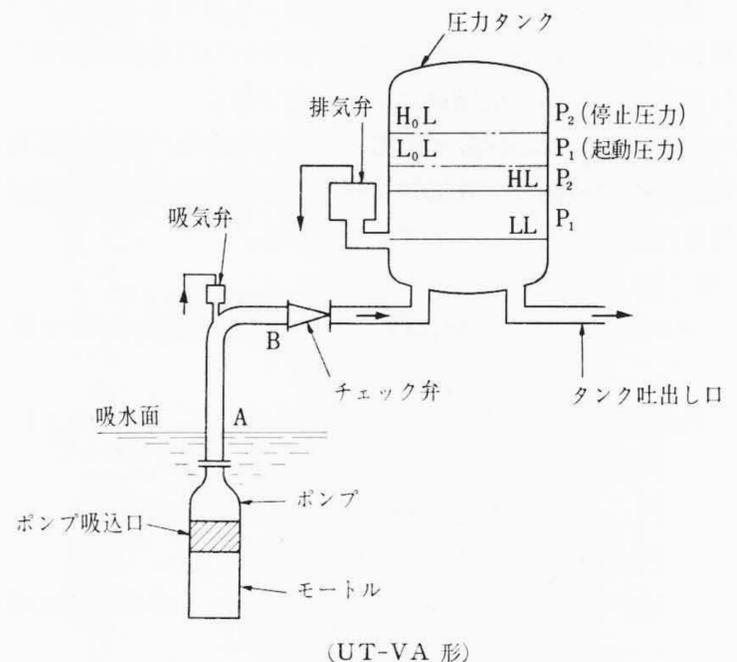


図1 圧力タンクに対する空気の自動補給説明図

多少の相違があるが、空気の送込原理は同一であるため、図1の立軸形ポンプによる空気の自動補給と過剰空気逃し装置による作動(実用新案申請中)について説明する。

(a) 圧力タンクにコンプレッサで初圧を与えずにタンク内が大気圧の状態ではポンプを始動するとタンク内の水位が上昇し、設定停止圧力 P_2 でポンプが停止する。このときタンク内の水位を H_0L とする。

(b) ポンプが停止するとタンクの圧力はチェック弁によって断されるから、吸水面とチェック弁の間の部分(図1の \widehat{AB} 間)の水がポンプ吸込口から受水槽に逆流しようとし、 \widehat{AB} 間が負圧になる。 \widehat{AB} 内が負圧になると吸気弁内のフロートが下がり、外部の空気を吸引し、やがて \widehat{AB} 内は完全に空気に置換される。

(c) ポンプの停止中に水の需要があれば、圧力タンク内の水位は低下し、タンク内の圧力が降下を続け、設定起動圧力 P_1 (このときのタンク内の水位を L_0L とする)になってポンプが再起動する。ポンプが運転を始めると、 \widehat{AB} 内の圧力が上昇し、吸気弁内のフロートは内圧によって自動的に閉まり、内部の空気は揚水とともに圧力タンク内に送り込まれる。

以上のようにポンプの停止、起動サイクルごとに一定量の空気が自動的に圧力タンクに送込されるために圧力タンク内の空気量は増加するから圧力タンク内の水位は低下し、やがて低水位(起動圧力 P_1 に対する水位)が排気弁取付位置 LL (図1参照)に達する。

(d) 排気弁は水の浮力により閉じ、水が降下すれば開くレバー付きフロート弁形式になっていて、水位が図1の LL よりさらに低下しようとするとき弁が開き、圧力タンク内の過剰空気を外部に

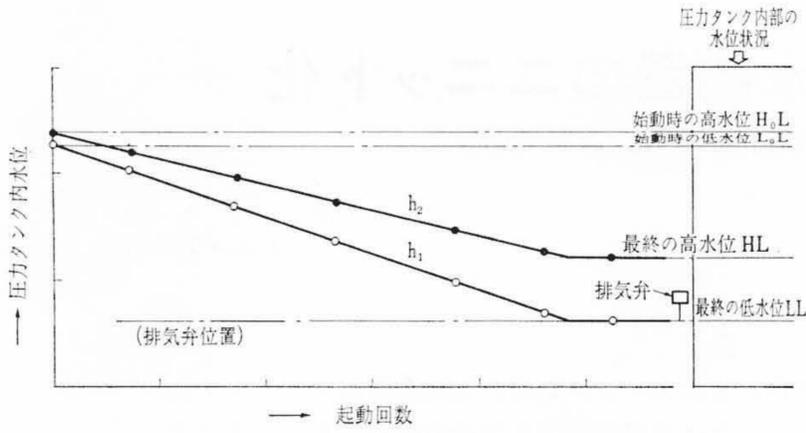


図2 ポンプの起動回数と圧力タンク内水位の関係

放出する。したがってタンク内の低水位は LL 線以下には低下しないことになる。

(e) 以後はタンク内の空気の減少を補って余りある空気がポンプの起動の都度補給され、過剰分は排気弁から自動的に排出されるから圧力タンク内の空気量は常に一定である。

図2はポンプの起動回数と圧力タンク内の水位の変化の関係を示す実験結果の一例で、吸気弁ならびに排気弁の前述の作動が円滑に行なわれていることを示すものである。

2.2 有効容積

圧力タンク内の圧力と空気容積との関係は一般に次式で示される。

$$P_0 V_0^\gamma = P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma \dots\dots\dots (1)$$

- ここに、 P_0 : 初 圧 (絶対圧力)
- P_1 : 最低圧力(起動圧力) (絶対圧力)
- P_2 : 最高圧力(停止圧力) (絶対圧力)
- V_0 : P_0 時の空気容積で、圧力タンクの全容積に相当する
- V_1 : P_1 時の空気容積
- V_2 : P_2 時の空気容積
- γ : 定 数

(1)式で等温変化とすれば $\gamma=1$ 、断熱変化とすれば $\gamma=1.4$ である。本圧力タンクの場合は等温変化と断熱変化の中間と考え $\gamma=1.2$ とし、圧力タンクの内容積 V_0 に対する有効容積 $V (=V_1 - V_2)$ の比を(1)式から求めると(2)式ならびに(3)式のようになる。

$$\frac{V}{V_0} = \frac{V_1 - V_2}{V_0} = \left(\frac{P_0}{P_1}\right)^{\frac{1}{1.2}} \left\{ 1 - \frac{1}{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{1.2}}} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

$$= \frac{V_1}{V_0} \left\{ 1 - \frac{1}{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{1.2}}} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

(2)式および(3)式で P_1 の値は必要最低圧力であるから特定の給水設備を想定した場合、一定である。したがって V/V_0 の値は

(2)式では P_0 と P_2/P_1

(3)式では V_1/V_0 と P_2/P_1

によって決まることになる。従来の圧力タンクの場合は(2)式によって計算せざるを得ない。したがって圧力比 P_2/P_1 のほかに必ず初圧 P_0 をいくりにするかということが問題になる。一方、ウォーターエースの場合は V_1 の値は排気弁の取付位置によって定まることになる(図1ならびに2.1の説明参照)から(3)式によって V/V_0 が計算される。排気弁の取付位置が定位置であるため、 V_1/V_0 の値は一定になるから有効容積比 V/V_0 の値は圧力比 P_2/P_1 だけで決まり、初圧 P_0 には無関係となる。排気弁の取付位置は V_1/V_0 の値ができるだけ大きく、しかもタンク内の空気がタンクからの吐出し水中に混入しないような配慮のもとに、各種実験の結果に基づいて決定されている。そのため従来の初圧を基準にしたものに比べて有効

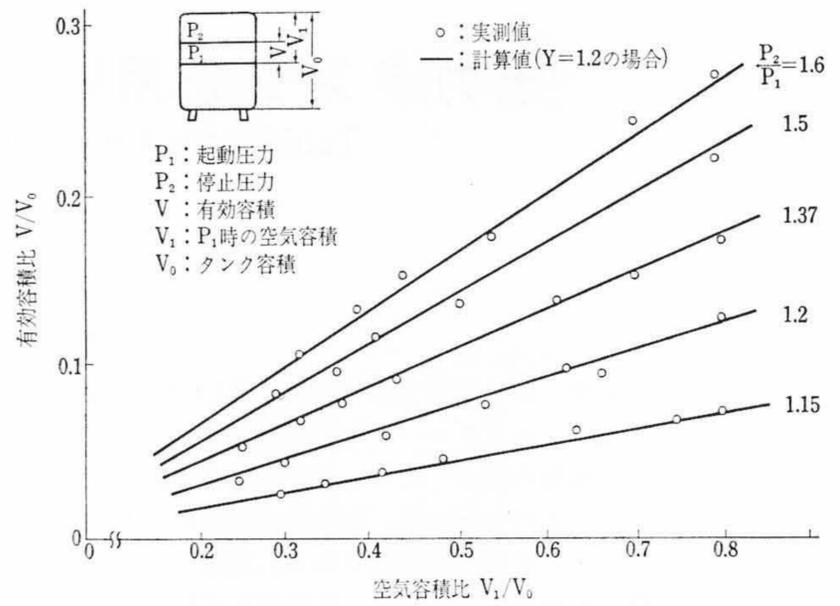


図3 圧力タンク内の空気量と有効容積の関係

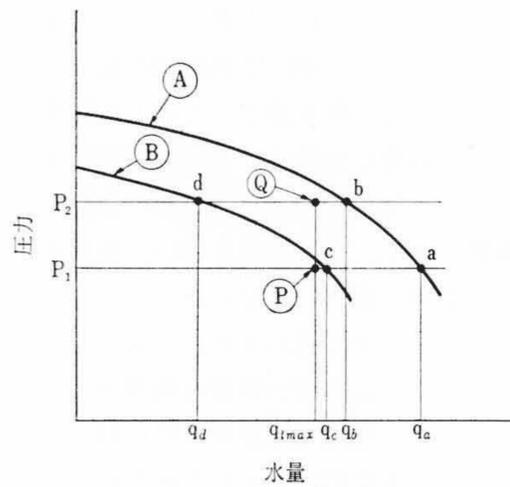


図4 ポンプ特性と設定圧力の関係

容積は一般に大きくなる。

なお(3)式による計算値と V_1/V_0 ならびに P_2/P_1 を種々変化させた場合の実測値は図3のようにほぼ一致し、 $\gamma=1.2$ が妥当な値であることがわかる。

2.3 圧力タンクの目的と起動ひん度

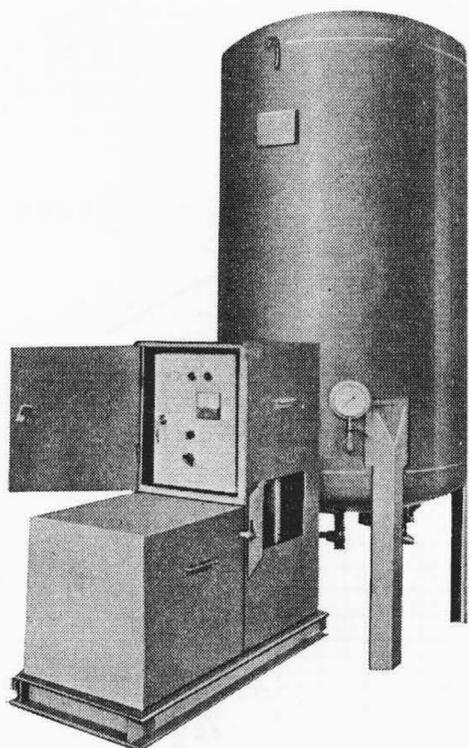
従来の圧力タンク式給水装置は一般に圧力タンク内の貯水量(有効容積分の水量)で給水するように計画されている。すなわち圧力タンクの目的は「貯水」という考え方である。この考え方によると圧力タンクの容量を相当大きくしないと起動ひん度が高いことになる。図4で使用最大水量(タンク吐出し量) q_{tmax} 、使用最低圧力(起動圧力) P_1 が与えられると給水装置の組合せは次の順で決められている。

使用最高圧力(停止圧力) P_2 の決定 → 初圧の設定 → 有効容積比の算出 → 圧力タンクの容積計算 → ポンプの選定

ポンプの選定は図4のQ点(q_{tmax}, P_2)を満足するAのような性能のポンプとの組合せがほとんどである。したがって q_{tmax} に対してポンプ吐出し量 q_b が上回ることになる。設定圧力 P_1, P_2 に対して q_b が $q_a \rightarrow q_b$ の範囲で運転されるから、圧力タンク吐出し量(給水量)が最大水量 q_{tmax} のときでも圧力タンク内の水位ならびに圧力が上がり、圧力 P_2 で停止し、貯水量が減じ、圧力が P_1 に低下して起動する。これを繰り返すことになる。この間のポンプの運転時間 t_1 と停止時間 t_2 はそれぞれ(4)ならびに(5)式で示される。

$$t_1 = \frac{V}{q_b - q_t} \dots\dots\dots (4)$$

$$t_2 = \frac{V}{q_t} \dots\dots\dots (5)$$



(保護ケース付)
図5 UT-VA形

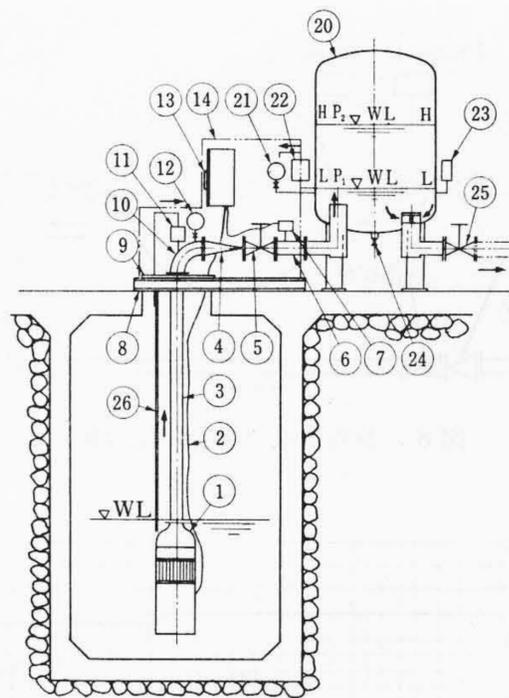
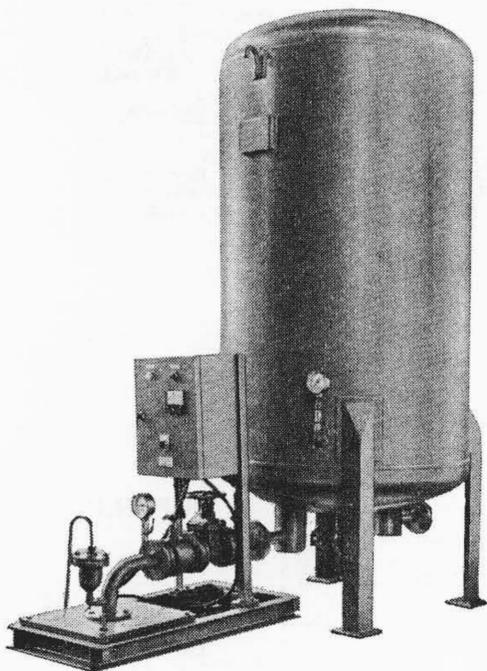


図7 UT-VA形断面図



(保護ケースをはずした状態)
図6 UT-VA形

表1 UT-VA形構成機器一覧表

No.	部 品 名	No.	部 品 名
1	ポンプ	12	連成計
2	防水ケーブル	13	制御箱
3	揚水管	(14)	保護ケース
4	チェック弁	20	圧力タンク
5	スルース弁	21	圧力計
6	短管	22	排気弁
7	圧力スイッチ	23	安全弁
8	チャンネルベース	24	タンク排水弁
9	ポンプベース	25	タンク吐出スルース弁
10	曲管	26	電極棒
11	吸気弁		

$$= \frac{V}{q_d} \quad (\text{ウォーターエース方式}) \dots\dots\dots (7)$$

ここに、 $q_d \ll q_{t \max}$

以上のように、起動ひん度は圧力タンクの有効容積、設定圧力 P_1 , P_2 (特に P_2) とポンプ性能との間に有機的な関連を持たせないと考えられ支障をきたしたり、不経済な設備になる場合がある。ウォーターエースに対してはこれらの関係を整理し、最終的には使用機器にとって必要じゅうぶんな起動ひん度に押し、ユニットの機能を保証する方式を採用している。

3. 給水ユニットの構成と作動

図5, 6ならびに図7は立軸形ポンプを使用した“ウォーターエース”UT-VA形 (このほかに横軸ポンプを使用したUT-HA形がある) の外観 (保護ケース付), 保護ケースをはずした外観ならびに断面図を示したものである。表1は構成機器一覧表である。

図7ならびに表1に示すように給水装置として必要な機器ならびに保護装置一式を装備しているから、現地搬入したら、

- (1) “ウォーターエース”を据付ける。
- (2) 圧力タンク出口から先の配管工事をする。
- (3) “ウォーターエース”に組み込まれている制御箱の接続端子と電源とを連結する1次側の配線をする。

と、二次側の配線ならびにポンプ回りの配管はすべて付属されており、圧力スイッチも所定値に調整されているから、直ちに始動できるようになっている。したがって現地での据付工事費も大幅に節減され、配線作業の間違いなども避けられる。保護ケース付の場合 (図5参照) はポンプ室を特に設けなくてそのまま屋外設置できるようになっている。

ここに、 t_1 : ポンプ運転時間
 t_2 : ポンプ停止時間
 q_p : ポンプ吐出し量
 q_t : 圧力タンク吐出し量 (給水量)

(5)式からわかるように q_t が大きいほど、停止時間 t_2 は小さくなるから従来は使用最大水量 $q_{t \max}$ で、これを検討していたのは当然である。

ここで観点を改めて、圧力タンクは「貯水」よりも「ポンプの起動停止を指令する送信装置」であるとしたらどうであろうか。需要側で必要な時はできるだけポンプを連続運転させ、需要水量が減ってきたら必要じゅうぶんな時間停止をさせる。このような観点到立つと、圧力タンクとはポンプの組合せが従来とだいぶ異なったものになる。

図4で⑨点 ($q_{t \max}$, P_1) を満足する⑩のような性能のポンプの組合せを考えると、設定圧力 P_1 , P_2 に対して q_p は $q_c \rightarrow q_d$ の範囲で運転するから、 q_t が $q_{t \max} \sim q_d$ の範囲では q_p と q_t はバランスすることになり ($q_p = q_t$)、(4)式の t_1 は無限大 (連続運転) となる。またポンプが停止するのは $q_t \leq q_d$ の小水量の範囲だけであるから、最短の停止時間 $t_{2 \min}$ が従来の方式に比べて長くなることは次の(6), (7)式の比較でもわかる。

$$t_{2 \min} = \frac{V}{q_{t \max}} \quad (\text{従来方式の場合}) \dots\dots\dots (6)$$

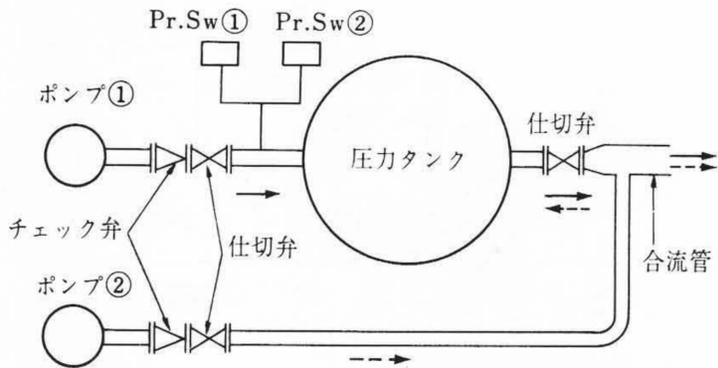


図8 並列運転の場合の配管図

並列運転方式

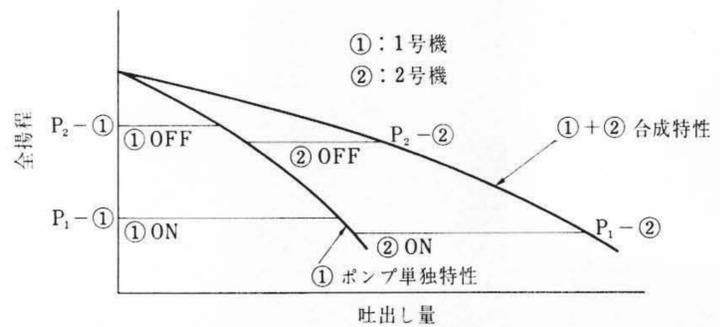


図9 並列運転方式と設定圧力

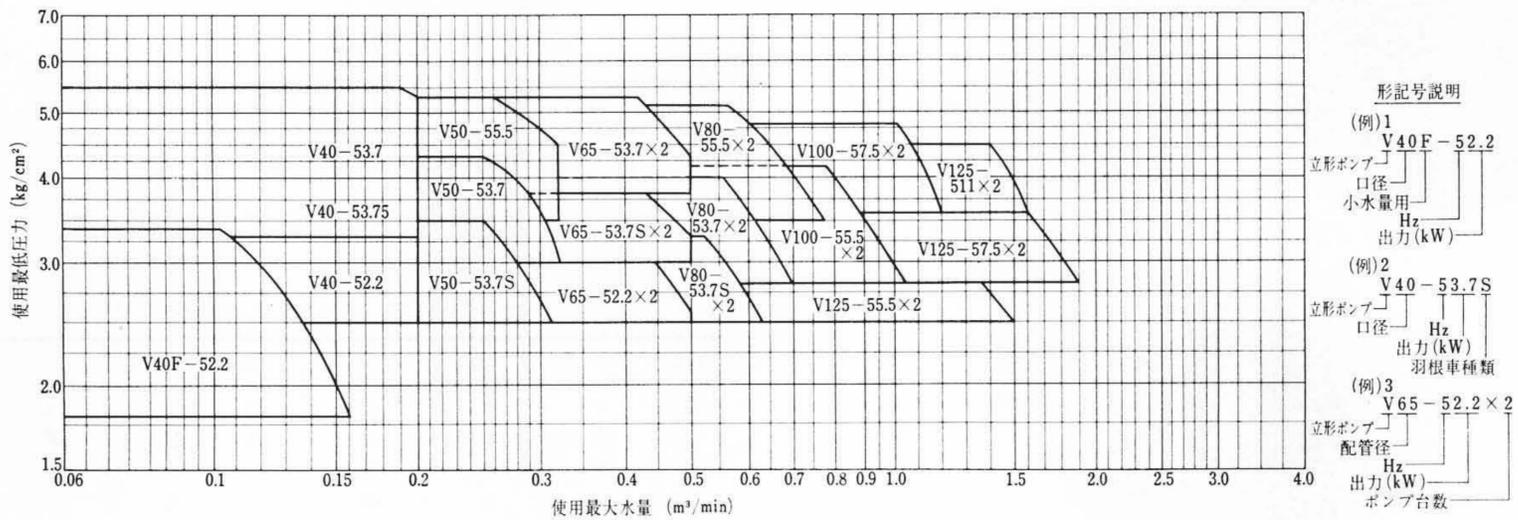


図10 UT-VA形適用図表 (50 Hz)

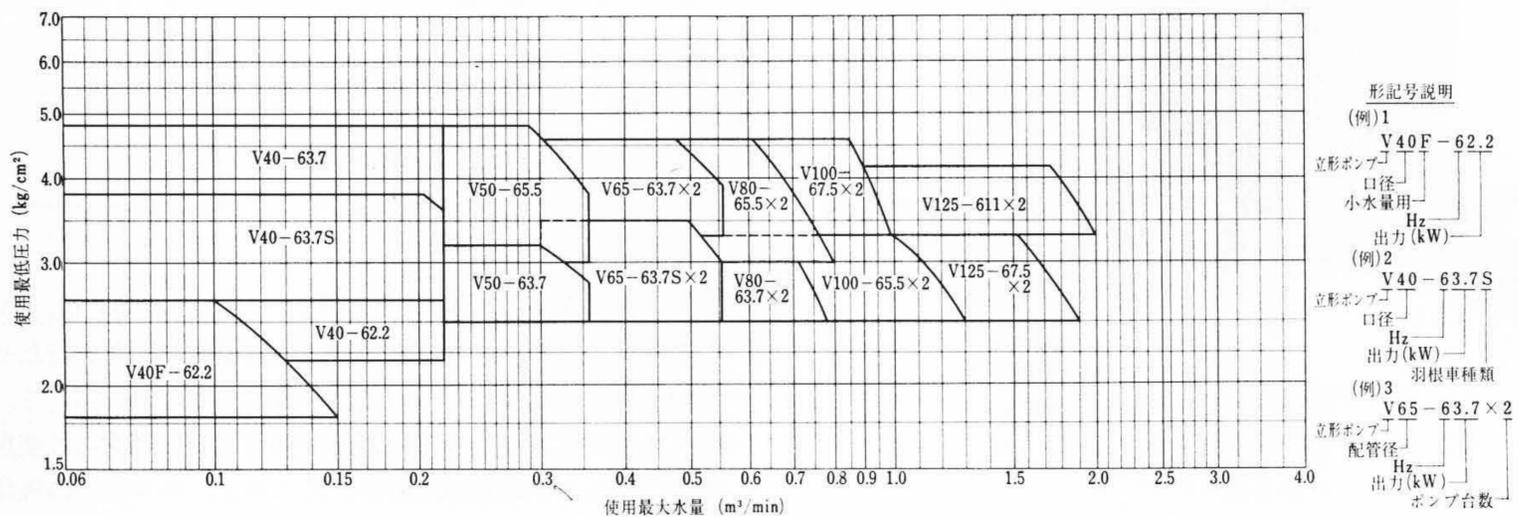


図11 UT-VA形適用図表 (60 Hz)

図7についてその作動を説明すれば次のようになりそれらがすべて自動的にこなされる。

- (1) 圧力タンク (内面エポキシコーティング) ②の圧力が下がり、起動圧力 P_1 になると圧力スイッチ ⑦の指令でポンプ ①が起動する。
- (2) 圧力タンクからの吐出し量(給水量)が減少してくるとタンク内の圧力が上がり、停止圧力 P_2 になると圧力スイッチ ⑦の指令でポンプ ①が停止する。
- (3) 揚水管③内の水が受水槽内にポンプ吸込口部を通して落水し、吸気弁⑩が自動的に開き、空気が揚水管内に吸引される。(2.1 参照)
- (4) 圧力タンク内の水位が下がり、圧力が P_1 になると再びポンプ ①が起動する。このとき吸気弁が自動的に閉じ、揚水管内の空気は水といっしょに圧力タンク ②内に送りこまれる。(2.1 参照)
- (5) 起動、停止を繰り返して圧力タンク ②内の空気が過剰にな

り、タンク内の水があらかじめ設定された限界水位 L-L まで低下すると排気弁 ②が自動的に開き、余分な空気を外部に排出する。したがって圧力タンク ②内の水は常に一定水位を確保する。(2.1 参照)

- (6) 受水槽内の水位がなんらかの理由であらかじめ設定された運転水位以下に低下した場合は電極棒 ⑥によりこれを検知してポンプを停止させて空運転を防ぐ。

4. 圧力タンクを利用したポンプ並列運転方式

使用最大水量は一般に需要のピーク時を考慮して決められるために平常時は当初決められた使用最大水量よりはるかに少ないことが多い。したがって常に1台のポンプを運転させることは運転経費もかかり、起動ひん度の考慮から圧力タンクの容量が大きくなり設備費も増すことになる。圧力タンクにポンプの台数制御を組合せることにより、これらの問題を解決することができる。比較的水量が多い場合の給水ユニット“ウォーターエース”にこの方式を採用している。

図8はその組合せ（組合せ方式については実用新案申請中）を示したものである。要求される使用最大水量の1/2の水量用のポンプを2台設置して、ポンプ①を圧力タンクに直結し、ポンプ②は圧力タンクの出口側で合流させ、合流管で給水する方式である。圧力スイッチ Pr. Sw ①はポンプ①用, Pr. Sw ②はポンプ②用で、それぞれの起動圧力 $P_{1-①}$, $P_{1-②}$ ならびに停止圧力 $P_{2-①}$, $P_{2-②}$ を図9のようにずらして設定しておく。また図9でポンプ①の単独運転の場合のポンプ特性曲線を①, ポンプを2台運転（①, ②の並列運転）した場合の合成特性を①+②とすると次のように作動する。

- (1) 圧力タンクの圧力が下がり、ポンプ①の起動圧力 $P_{1-①}$ になると圧力スイッチ Pr. Sw ①がこれを検知してポンプ①が起動する。
- (2) タンクからの吐出し量（給水量）が少なければポンプ①の単独運転でこれをまかない、さらに給水量が減り、タンク内の圧力が上がり $P_{2-①}$ になると Pr. Sw ①によりポンプ①が停止する。
- (3) ポンプ①が運転中に給水量が増し、タンク内の圧力が下がり、圧力が $P_{1-②}$ になると Pr. Sw ②がこれを検知してポンプ②が追加起動してポンプ①と②の並列運転となり、合流管内の圧力と水量の関係は合成特性①+②の線上で変化し、その圧力は圧力スイッチで検知される。
- (4) 給水量が少なければ圧力タンク内の圧力が上がり、 $P_{2-②}$ になると Pr. Sw ②によりポンプ②が停止してポンプ①の単独運転になる。
- (5) 圧力タンクへの空気の自動補給はポンプ①の起動停止によって行なわれ、タンク内の空気量は一定に保たれる。

この方式によればポンプ1台と組み合わせるものに対して圧力タンクは1/2の容積ですみ、しかも運転経費を大幅に節減することができる。

5. 給水ユニットの選定法

2.3で述べたように従来の圧力タンク方式では圧力タンクの計算、ポンプの選定という順序になっているがウォーターエースの場合は

- (1) 起動ひん度から検討された圧力タンクの容積、設定圧力ならびにポンプ特性の組合せが事前にできていて、

表2 給水装置の設備設計順序従来の方法とウォーターエースの比較

	仕様	給水装置			
		圧力タンク	ポンプ	制御箱	保護装置
従来の方法	使用最大水量 (q_{tmax}) 使用最低圧力 (P_1)	→ 使用最高圧力、初圧の設定 → P_2 の設定 → 有効容積比の算出 → 圧力タンクの容積決定	→ ポンプ選定 (ポンプカタログより)	→ 設計	→ 選定
ウォーターエースの場合	使用最大水量 (q_{tmax}) 使用最低圧力 (P_1)	→ ユニット形番選定 (ウォーターエースカタログより)			

- (2) 使用最大水量 q_{tmax} と使用最低圧力 P_1 から組合せのできているユニットの形番を選定すればよい（図10, 11は UT-VA 形の選定図である）。

したがって設備設計工数が大幅に節減され、しかも実際使用上間違いのない給水装置が得られることになる。従来の方法との比較をまとめると表2のようになる。

6. 結 言

給水設備に必要な圧力タンク、ポンプ、制御箱、保護装置類をコンパクトにまとめた給水ユニット“ウォーターエース”を製品化して現地での据付ならびに取り扱いを単純化するようにした。

本給水ユニットは従来の圧力タンクの欠点である“使用中に圧力タンク内の空気が減少する”問題に対して、ポンプの起動停止を利用して自動的に空気を圧力タンクに補給する方式を考案した。これによりタンク内の水位は常は一定に保たれ、保守上きわめて扱いやすくなった。また圧力タンクの有効容積が大きく、起動停止圧力とポンプ特性との間に関連性を持たせた組合せを設定しているので圧力タンクが小形化され、しかも起動ひん度は低く押えられている。この選定は使用最大水量と使用最低圧力から直接できるようになっているから設備設計工数も大幅に節減できて、しかも間違いが生じないことになる。

今後、建築構造物の美観上から、また現場工費の節減の意味からも高架タンクや高置タンク方式に代わってこの種給水ユニットが注目されるものと期待している。