

給水装置における省エネルギーの変遷と今後の動向

川井 政人*

Transition in Energy-saving Technologies of Booster Units

by Masahito KAWAI

A study was made on the energy consumption of various booster units for high-rise buildings and housing complexes. Results indicated that using direct connecting booster pump systems, estimated constant end-pressure control, and PMSMs (Permanent Magnet Synchronous Motors) enabled about 70% reduction in power consumption, compared to the case of using current conventional means. However, booster systems are operated under significantly smaller than rated flow rates most of the time. Thus, it is possible to conserve power by employing a train of multiple small-rated pumps and controlling their OFF/ON in an optimal way. The relationship among the specifications of the structure housing the booster system, instant maximum water consumption, and water consumption patterns needs to be clarified to determine the type and number of pumps which would enable optimization.

Keywords: Direct connecting booster pump system, Estimated constant end-pressure control, Permanent magnet synchronous motor (PMSM), Instant maximum water consumption, Water consumption pattern

1. はじめに

高層ビルや集合住宅等の水道本管の圧力だけでは給水が困難な建物では、ポンプを使用した給水装置が使用される。これらの建物では不特定多数の人が水を使用するため、水使用量の予測が難しく給水装置の負荷変動も激しいという特徴がある。

水道設備は最も重要なライフラインの一つであるため、給水装置にも高い信頼性が要求され、また同時に飲料水を送水する装置としての高い安全性も要求される。このような給水装置においても省エネルギーに対する要求は高く、様々な給水方式や制御方式が採用されてきた。本稿では、これら給水装置の変遷と省エネルギー技術の動向について紹介する。

2. 給水方式の種類

図1に給水方式と制御方式の種類を示す。図1のとおり現在給水方式には大きく分けて、水道本管からの水を地上部の受水槽にいったんためてからポンプで給水を行

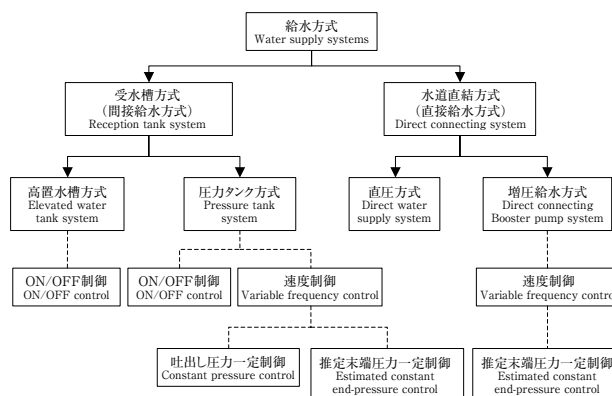


図1 給水方式/制御方式の種類

Fig. 1 Types of water supply and pump control systems

う受水槽方式（間接給水方式）と、水道本管から直接給水する水道直結方式（直接給水方式）の2種類がある。更に受水槽方式は高置水槽方式、圧力タンク方式に分けられ、水道直結方式は水道本管に直接ポンプを接続する増圧給水方式とポンプを使用せず水道本管の圧力だけで給水する直圧方式に分けられる。また制御方式はON/OFF制御、インバータによる速度制御に分けられ、更に速度制御は吐出し圧力一定制御、推定末端圧力一定制御に分けられる。

* 風水力機械カンパニー 汎用ポンプ事業統括 技術生産開発統括部 汎用機器開発設計室

本稿は第61回ターボ機械協会総会講演会（2009.5）への投稿原稿に一部加筆修正を加えたものである。

3. 給水装置の変遷

以下に給水装置の変遷と各方式の特徴を紹介する。また図2に給水方式別の機器構成とポンプ運転点を示す。

3-1 高置水槽方式+ON/OFF制御

当初、給水装置を必要とする建物では、地上部に水道本管からの水をためる受水槽、建物の屋上に重力によって各給水栓に水を供給する高置水槽、そして受水槽から高置水槽へ水を送るためのポンプを設置した高置水槽方式が採用されてきた。制御方式としては、高置水槽内の水位を水位検知器によって検知しポンプを始動/停止させるON/OFF制御を行っている。高置水槽方式は、(1) 停電時でも給水が可能、(2) 常にポンプが最高効率点近傍で運転されるため効率が良い、(3) 重力による給水のため水圧変動が少ない等の優れた特長から長く給水装置の主流であった。しかし、高置水槽方式は水槽設備や高置水槽と制御盤間の水位信号配線が必要となるため、インシヤルコストが高く水槽の定期清掃も必要となった。また、保守不足による不衛生な受水槽が社会的な問題となったこともあり、現在ではあまり採用されていない。

3-2 圧力タンク方式+ON/OFF制御

地上部の受水槽からポンプで各給水栓に直接給水を行うことによって高置水槽を不要としたのが圧力タンク方式である。この方式は、ポンプの他に水の未使用時に給水管内の圧力を保持するための圧力タンク、給水管内の圧力を検知する圧力スイッチ、流量を検知する流量スイッチ、圧力及び流量信号によってポンプの発停を制御する制御盤から構成される。これらの機器をコンパクトにユニット化したものがポンプメーカーから供給されており、現場での設置工事を極めて容易にしている。

制御方式はON/OFF制御であり、制御動作は以下のとおりである。

① 水の未使用時、給水管内は圧力タンクによって圧力を保持

② 水の使用開始時は、圧力タンクから給水 (= 圧力変動、始動頻度過多の緩和)

③ 給水管内の圧力が低下し始動圧力に達すると、ポンプが始動

④ 水が使用されず給水管内圧力が上昇して停止圧力に達するとポンプ停止、又は流量スイッチが小水量を検知するとポンプ停止

圧力タンク方式は、高置水槽方式に比較して高置水槽の不要化とポンプの設置容易性によってトータルでの初期コストが低減されたため広く普及したが、ポンプの運

転点が水の使用量によって変化するため、効率は高置水槽方式に比べて悪くなる。また、停電時は給水不可能であり、水圧変動が大きく、状況によってはポンプ吐出し側に圧力調整弁を設ける必要があることや、小水量時に必要以上の圧力となること、更に受水槽の定期清掃が必要等のデメリットがある。

3-3 圧力タンク方式+吐出し圧力一定制御

吐出し圧力一定制御は、インバータを使用してポンプを可変速運転することでポンプの吐出し圧力を一定とした制御方式で、これによってON/OFF制御に比較して水圧変動を抑えると共に消費エネルギーの低減を図っている。使用機器としては、ON/OFF制御に対してインバータが追加され、圧力スイッチを圧力センサに変更した構成となっており、これによって吐出し圧力一定を実現している。

3-4 圧力タンク方式+推定末端圧力一定制御

推定末端圧力一定制御は、インバータでポンプの可変速運転を行い、小水量時の吐出し圧力を大水量時の吐出し圧力よりも配管損失に相当する分だけ下げようとした制御方式で、現在主流の方式である。本方式では、小水量時に必要以上の昇圧を避けることで、吐出し圧力一定制御に比較して消費エネルギーの低減を図っている。構成機器は、吐出し圧力一定制御と同一で、制御ソフトの変更だけで推定末端圧力一定制御を実現している。推定末端圧力一定制御の基本メカニズムは以下のとおりである(図3)。

(1) 運転前の準備

設置状況に合わせ、「給水量-吐出し圧力線図」上の「目標圧力曲線」に対応した「回転速度-吐出し圧力線図」上の「目標圧力曲線」を定義する。

(2) 運転点“a”(回転速度： $-N$ ，吐出し圧力： $-P$ ，給水量： $-Q$)で安定した状態から給水量が Q へ増加した場合

① 給水量の増加に伴い運転点が $a \rightarrow b$ へ移動し、吐出し圧力が低下

② 吐出し圧力を回転速度 $-N$ における目標圧力 $-P$ に上げるため、回転速度を増加(運転点： $b \rightarrow c$)

③ 吐出し圧力が $-P$ に達した時には回転速度は既に $-N$ 以上となっているため、更に加速を続け運転点 d に達する

(3) 運転点“x”(回転速度： $+N$ ，吐出し圧力： $+P$ ，給水量： $+Q$)で安定した状態から給水量が Q へ減少した場合

④ 給水量の減少に伴い運転点が $x \rightarrow y$ へ移動し、吐出

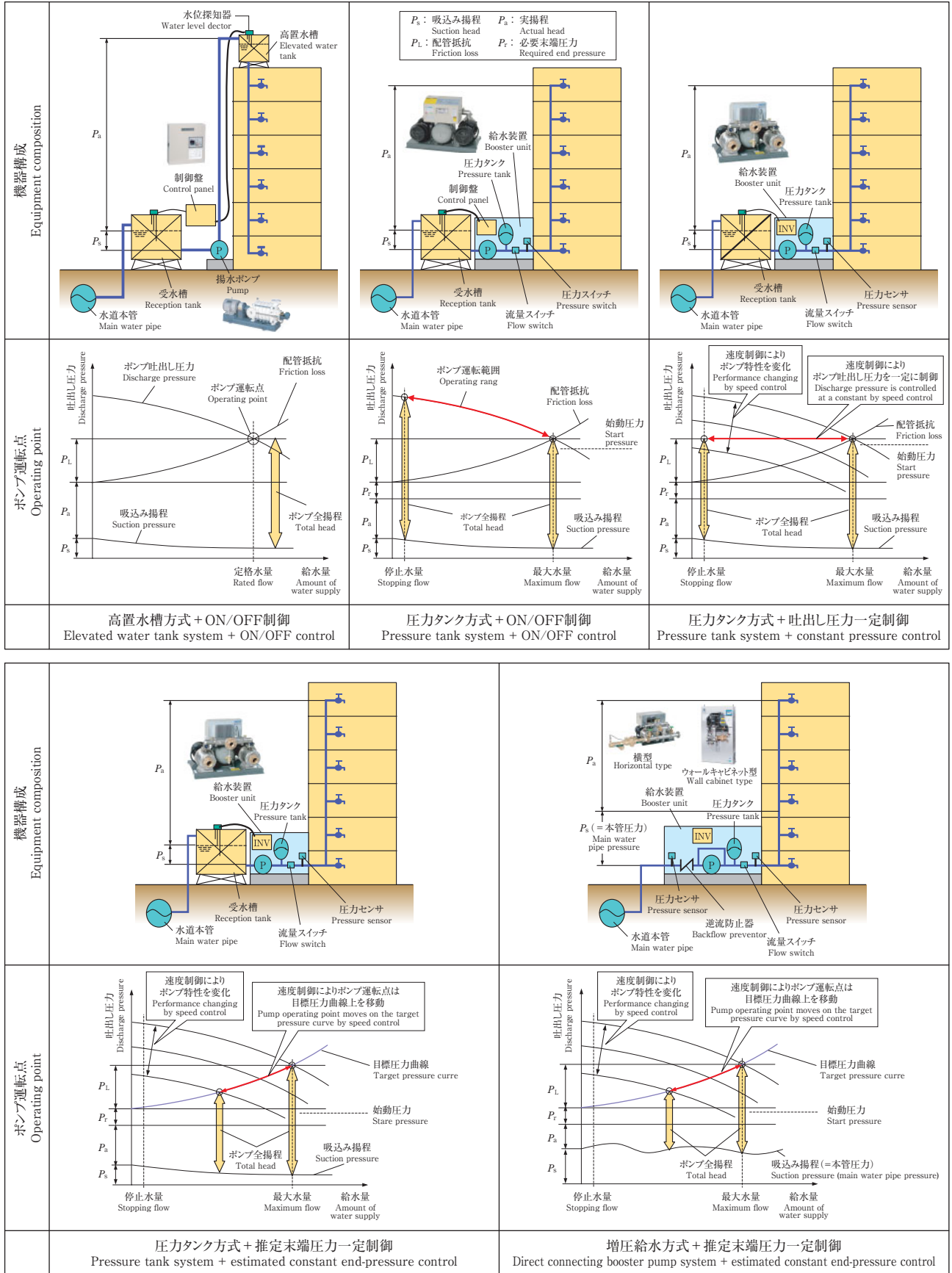


図2 給水方式別の機器構成とポンプ運転点
Fig. 2 Equipment composition and operating point

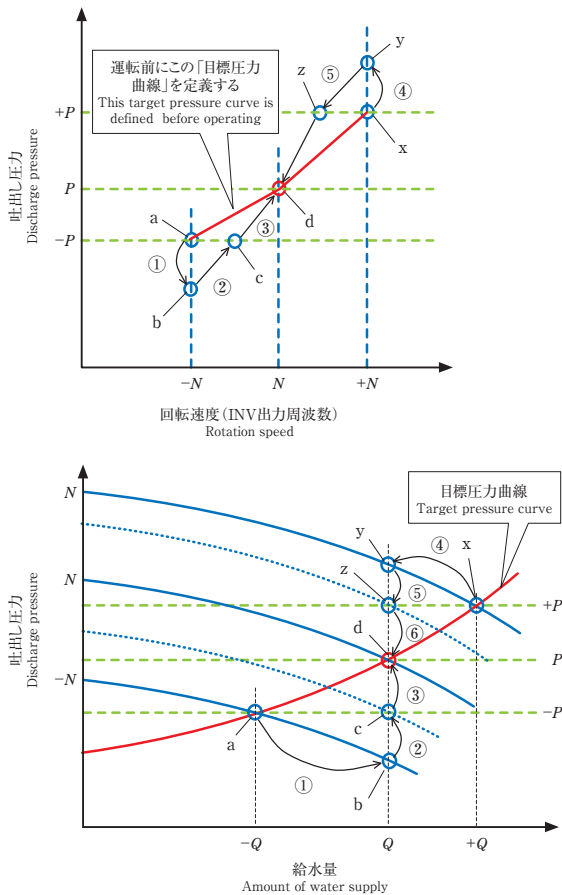


図3 推定末端圧力一定制御のメカニズム

Fig. 3 Mechanism of estimated constant end-pressure control

し圧力が上昇

⑤ 吐出し圧力を回転速度 $+N$ における目標圧力 $+P$ に下げるため、回転速度を減少（運転点： $y \rightarrow z$ ）

⑥ 吐出し圧力が $+P$ に達した時には回転速度は既に $+N$ 以下となっているため更に減速を続け運転点 d に達する

3-5 増圧給水方式+推定末端圧力一定制御

増圧給水方式は受水槽を使用せず水道本管と給水装置を直接接続した給水方式で、水道本管圧力を無駄にすることなく利用できるため、受水槽方式に比較して大幅に消費エネルギーの低減が図れる。構成機器は、圧力タンク方式の推定末端圧力一定制御の構成機器に加えて、本管圧力が高い場合にポンプを介さず給水するためのバイパス配管、本管への逆流を防止するための逆流防止器及びポンプ吸込み側圧力を検知する圧力センサが必要となる。吸込側圧力センサの圧力信号は、推定末端圧力制御に使用されると共に、吸込み側の圧力が一定値以下となった場合にポンプを停止させることで水道本管圧力が異常低圧（負圧）となることを防ぐために使用される。

この方式は、現在最も効率の良い給水方式であり、今後の主流となるものである。

4. ポンプ用電動機について

現在ポンプ駆動用に使用される電動機には、従来からある誘導電動機の他に、米国エネルギー政策法（EPA Act）やJIS C 4212「高効率低圧三相かご形誘導電動機」の規定を満足する高効率誘導電動機とロータに永久磁石を使用した滑りの無い永久磁石同期電動機（PMSM）がある。このなかで最も効率の高いのがPMSMであるが、駆動には専用のインバータが必要で、誘導機に比較して高コストとなるため、一般のポンプでは普及が進んでいない。しかし、PMSMは負荷変化による効率変化が小さいという特長があり、負荷変化の大きい給水装置には適した電動機であるといえる。給水装置においては前述のとおり既にインバータの使用が主流となっており、PMSMを採用した場合のコストアップ分も高効率化による効果で比較的短期間での回収が可能であるため、ポンプメーカー各社が増圧給水方式でPMSMを採用している。

5. 消費電力比較

同一使用条件下での各給水方式の消費電力試算結果を以下に示す。

5-1 計算条件

- ・給水対象：5階建て40戸の集合住宅
- ・1戸当たりの人数：4人
- ・1日1人当たりの使用水量：250 L/日
- ・給水圧力：30 m
- ・瞬間最大給水量 Q_{max} ：225 L/min
[（貯）ベターリビングの算定式による]
- ・給水パターン：図4による
- ・使用ポンプ：口径40 mm × 2.2 kW
- ・高置水槽方式の運転定格：
39 m × 180 L/min × 2.039 kW
- ・増圧給水方式の吸込圧力（≒本管圧力）：15 m一定
- ・1日当たりの平均給水量：27.8 L/min
[$= 4 \times 40 \times 250 / (24 \times 60)$]
- ・1時間平均の最大給水量：68.6 L/min

5-2 計算結果

計算結果を表に示す。現在の主流である「受水槽式/圧力タンク式/推定末端圧力一定制御/誘導機駆動」の消費電力を100とした場合、最も効率の低い「受水槽式/圧力タンク式/ON-OFF制御/誘導機駆動」で280.4、最も高い「増圧給水方式/推定末端圧力一定制御/PMSM駆動」

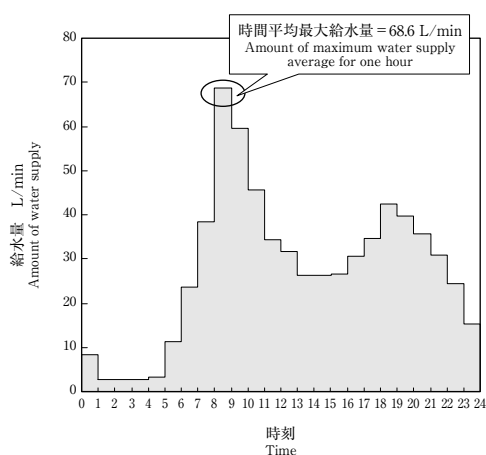


図4 消費電力計算用給水パターン
〔財ベターリビングによる〕

Fig. 4 Water supply pattern

で29.0であった。

したがって最も効率の良い増圧給水方式とすることで、現行主流方式に対し約70%、高置水槽方式と比較しても約60%の省エネルギーになる結果となった。

6. 更なる省エネルギーに向けての課題

前項の計算例において、給水装置は瞬時最大水量 (Q_{max}) がカバーできる機種が選定される。しかし時間平均給水量は $27.8 \text{ L/min} = 0.12 Q_{max}$ 、時間平均最大給水量でも $68.6 \text{ L/min} = 0.3 Q_{max}$ 程度であり、ほとんどの時間、ポンプは定格よりも大幅に小さい水量で運転されていることが分かる。このことから、給水装置においては小水量域での効率を上げることが省エネルギーに有効

であるといえる。1台のポンプで広い水量範囲を高効率に保つことは極めて困難であるため、定格水量の小さいポンプを複数台並列設置し、必要水量に合わせて運転する台数を増減する方法が有効であると考えられる。更に広い負荷範囲で高効率を維持できるPMSMと推定末端圧力一定制御を併用することで一層の省エネルギーが期待できる。

しかしながらこの場合、使用するポンプの機種と台数をどのように選定するかが問題となる。選定の基礎データとなるのが瞬時最大給水量と給水パターンであるが、5項の計算に使用したものは1970年代に作成されたもので必ずしも現状に適合していない可能性がある。

そこで、給水装置の省エネルギーを今後更に推進するためには、できるだけ多くのデータを収集し、建物の用途（集合住宅、商業ビル、オフィスビル等）、規模、地域、気候等と給水量、給水パターンの関係を明らかにすることが重要な課題となる。

7. おわりに

給水装置の変遷を給水方式及び制御方式による省エネルギーの観点から紹介してきたが、ポンプ自体の効率向上も重要な課題であることはいうまでもない。近々、欧州では市場投入できるポンプの最低効率が規定される予定であり、このような省エネルギーに対する規制は世界的に拡大していくと考えられる。今後とも、これらの社会的要求に対応し持続可能な社会実現のため、ポンプ単体を含めたポンプシステムの高効率化を推進していく所存である。

表 給水・制御方式別消費電力計算結果

Table Power consumption trial calculation result

	給水方式 Water supply system		駆動機 Driver	制御方式 Control system	消費動力 (kWh) Power consumption	%
1	直結 Direct	増圧給水 Booster pump	PMSM	推定末端圧力一定 Estimated constant end-pressure control	3.1	29.0
2					4.4	41.1
3	受水槽 Reception tank	高置水槽 Elevated water tank	誘導機 Induction motor	ON/OFF制御 ON/OFF control	7.5	70.1
4		速度制御 Variable frequency control		推定末端圧力一定 Estimated constant end-pressure control	10.7	100
5				圧力一定制御 Constant pressure	12.0	112.1
6		圧力タンク Pressure tank		ON/OFF制御 ON/OFF control	30	280.4