

給水装置 製品技術紹介

— 第4回 速度制御方式について —

金 田 一 宏*

Water Supply Equipment: Introduction of Product Technologies — Part 4: Variable Frequency Control System —

by Kazuhiro KANEDA

We provided explanation on the topics of various water supply systems, their purposes and how to select them, in the first and second series of technical introduction of the water supply equipment (water supply units) which are our company's main products. In the third series, we explained the "ON-OFF control system", the most basic system of controlling pressure among water supply systems.

In this fourth part of the series we will cover the "variable frequency control system", which is superior to the "ON-OFF control system" in suppressing water pressure fluctuations and can operate with a high degree of energy saving, and the water supply equipment that utilizes the system. The introduction will include topics such as details of the control system, actual structure and main components, various special specifications, and protective functions for its safe operation.

Keywords: Water supply equipment, Water supply system, Variable frequency control system, Inverter, Energy saving, Estimated constant end-pressure control, Control system backup, Pressure sensor, Special specifications, Protective function

1. はじめに

当社の主力製品の一つである給水装置（給水ユニット）の技術紹介シリーズとして、第1回・第2回講座では給水方式の種類と用途、選定方法などについて、第3回講座では、給水方式の中で最も基本的な圧力の制御方式であるON/OFF制御方式について説明を行った。

第4回となる本稿では、ON/OFF制御方式に比べて水圧変動を抑えるとともに、省エネルギー効果の高い運転をする速度制御方式と、それを用いた給水装置について、実機の構造と主要構成部品、その制御方式の内容、様々な特殊仕様、安全に運転するための保護機能等を紹介する。

2. 速度制御方式給水装置の構造

速度制御方式は、給水装置の吐出し圧力に応じてポンプの回転速度を制御するため、装置の主要な構成に、ポンプ、ポンプの吐出し圧力を検知するための圧力センサと制御盤がある。そこで、当社の代表的な速度制御方式の給水装置であるフレッシャー 3100型（F3100型）の中か



15-08 01/248

写真1 速度制御方式給水装置（F3100型）

Photo 1 Water supply equipment with variable frequency control (model F3100)

ら、2台のポンプを備えた給水装置（写真1）を例に挙げ、説明する。

2-1 給水装置の構造

図1に示すように本給水装置は、2台のポンプと制御盤を共通のベースに設置し、ポンプの吐出し口を集合させる吐出し配管によって、給水装置としての吐出し口を

* 風水力機械カンパニー 標準ポンプ事業統括 開発設計統括部 システム機器開発設計室

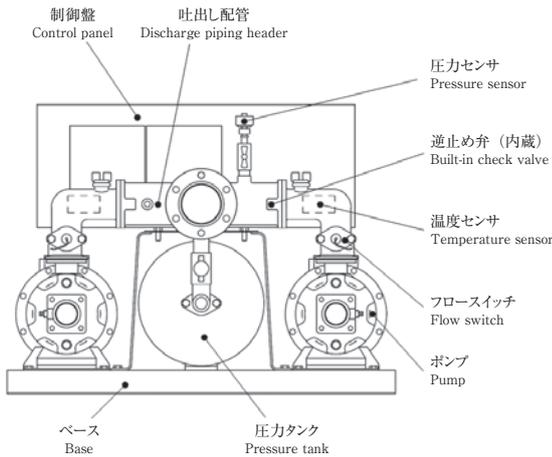


図1 機器構成 (F3100型)
Fig. 1 Configuration (model F3100)

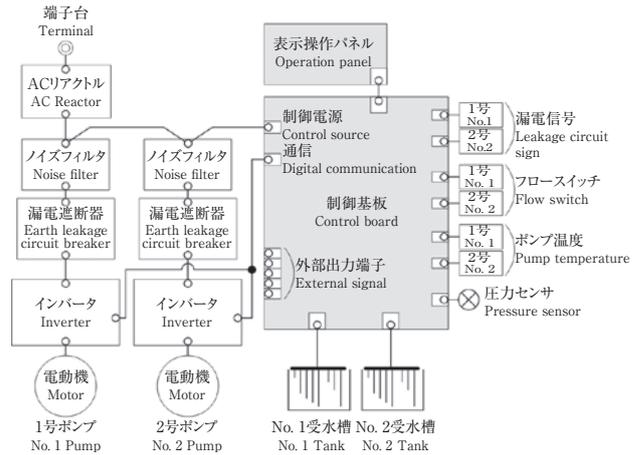


図3 制御盤の機器構成 (並列交互運転形仕様)
Fig. 3 Configuration of the control panel (parallel/alternate operation type)

1つにまとめている。さらに、圧力センサ、フロースイッチ、逆止め弁、圧力タンク、温度センサなどの必要な制御機器を、吐出し配管等に取り付け、制御盤に配線施工することで、設置・配管・配線の手間を大きく軽減した構造となっている。

2-2 圧力センサ

給水装置の吐出し圧力を測定する圧力センサ(図2)は、水圧の変化によって変位するダイヤフラムを使って、電気的アナログ信号を出力するものを使用している。速度制御方式において、核となる機器である。

2-3 制御盤

制御盤は、圧力や流量などの検知機構の信号を受け、インバータの出力周波数を制御して、電動機の回転速度を調整しながらポンプを駆動させる機器である。

2-3-1 制御盤の構成

制御盤の機器構成(並列交互運転仕様)を図3に示す。電動機の動力回路には、電気的なノイズを抑制するノイズフィルタや、万一の過電流や漏電時に人や機器を保護する漏電遮断器、ポンプの回転速度を制御するインバー

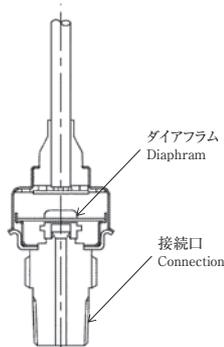


図2 圧力センサ
Fig. 2 Pressure sensor

タをポンプごとに設けている。また、ACリアクトルを標準で装備し、インバータから発生する高調波を抑制するとともに、力率改善効果によって、電気料金の割引制度が適用される。

制御基板は、圧力センサやフロースイッチ、受水槽水位などの入力信号を受け、インバータへの回転速度の指令や、給水装置の運転状態、異常情報を表示操作パネルや外部出力端子に出力するなど、給水装置の制御全般を担っている。

2-3-2 インバータ駆動による高調波について¹⁾

速度制御方式の給水装置は、電動機をインバータ駆動しているため、高調波が発生する。電力会社から供給される商用電源の正弦波を基本波といい、この基本波の整数倍の周波数をもつ正弦波を高調波という。図4のように、基本波に高調波が加わった電源波形は、ひずみ波形となる。インバータのように回路に整流回路とコンデンサを利用した平滑回路がある場合、入力電流波形にひずみ高調波が発生する。高調波は電線を伝わり、他の電気設備や機器に次のような影響を及ぼす場合がある。

- ①機器への高調波電流の流入による異音、振動、損傷等
- ②機器へ高調波電圧が加わることによる誤動作等

当社の給水装置は、インバータの一次側回路にACリアクトルを接続したり、インバータにDCリアクトルを

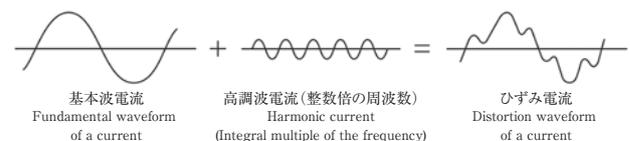


図4 基本波と高調波
Fig. 4 Fundamental and harmonic waveforms



15-08 02/248

写真2 ステンレス鋼製多段渦巻ポンプ (MDPE型)

Photo 2 Stainless steel multi-stage volute pump (model MDPE)

接続することによって高調波を抑制し、(一社)日本電機工業会が定めた「汎用インバータ(入力20 A以下)の高調波抑制指針」に適合している。

2-4 ポンプ

ポンプは、水質汚染のおそれがないステンレス鋼製多段渦巻ポンプMDPE型を採用している。2015年度からスタートしたモータの効率規制基準を満足するトップ

ランナーモータを搭載しており、高い省エネルギー効果を実現している。写真2に、MDPE型ポンプの外観を示す。

3. 速度制御方式給水装置の制御動作

速度制御方式は、ポンプの吐出し圧力を検知して、任意の設定値(目標圧力)と比較演算し、その演算結果に基づいて、インバータ制御によってポンプの回転速度を増減させることでポンプ性能を変化させて、吐出し圧力を調整し最適な圧力での給水を実現する給水方式である。一般的に渦巻ポンプは、回転速度の変化に対して軸動力は3乗に比例して変化する特性があるため、回転速度が一定のON/OFF制御方式に比べて大幅に消費電力を低減できる。

3-1 吐出し圧力一定制御

吐出し圧力一定制御は、インバータによってポンプの回転速度を制御し、実揚程と、水道器具に必要な末端圧力と、建物の配管抵抗の圧力損失を加算した給水圧力一定で運転する速度制御方式で、ON/OFF制御に比べて水圧変動を抑えるとともに、消費電力の低減を図っている(図5)。

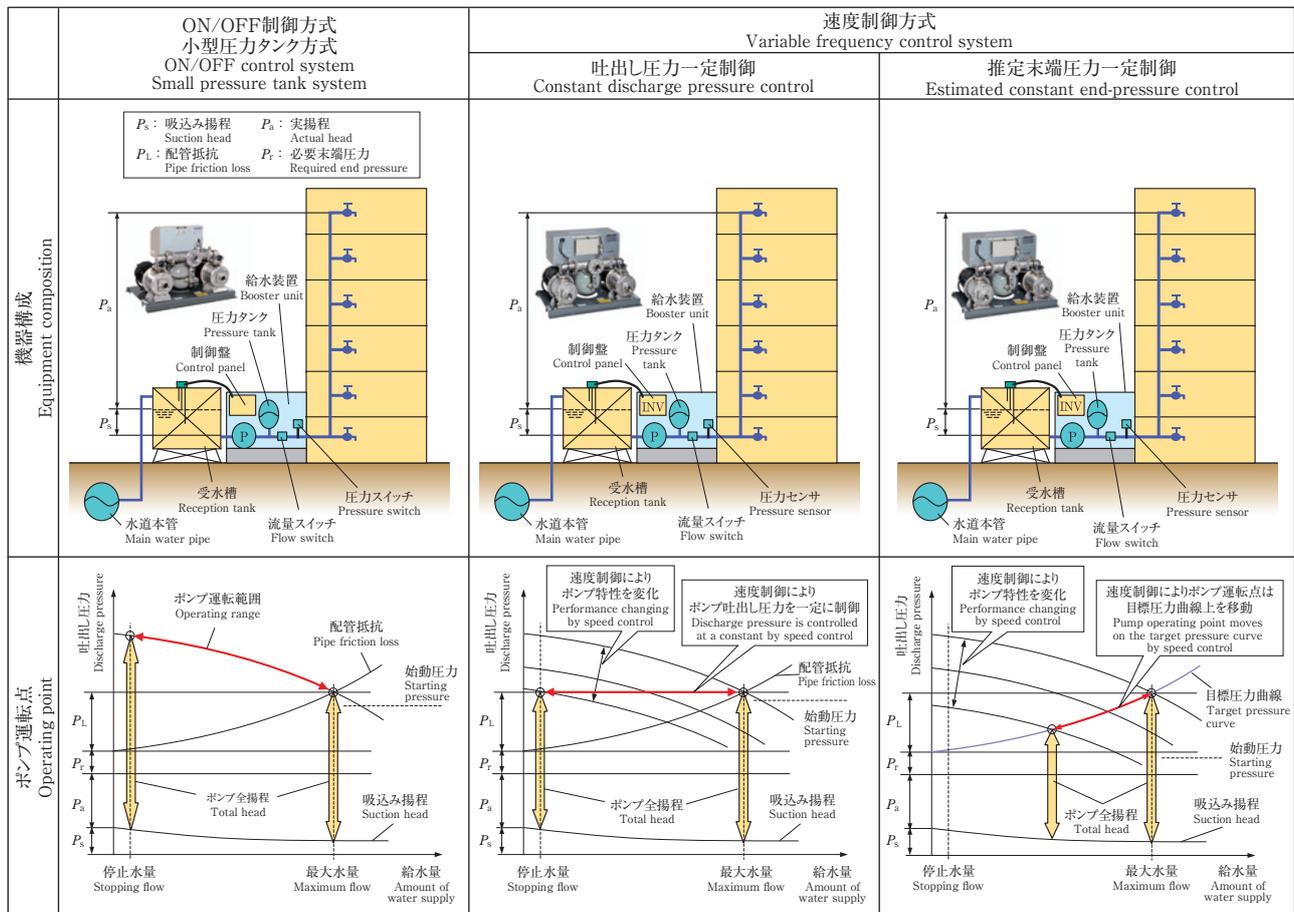


図5 給水方式別の機器構成とポンプ運転点

Fig. 5 Equipment composition and operating point

3-2 推定末端圧力一定制御

推定末端圧力一定制御は、インバータによってポンプの回転速度を制御し、実揚程と、水道器具に必要な末端圧力に、給水量に応じた建物の配管抵抗分の圧力損失を加味した給水圧力で運転する速度制御方式で、現在主流の制御方式である。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べて更に消費電力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、設定値変更だけで推定末端圧力一定制御を実現している（図5）。

3-2-1 推定末端圧力一定制御の基本メカニズム

推定末端圧力一定制御の基本メカニズムは次のとおりである（図6）。

(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_- に達したときには回転速度は既に N_- 以上となっているため、更に加速を続け目標圧力曲線上の運転点 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_+ に下げするため、回転速度を減少（運転点： $y \rightarrow z$ ）。
- ⑥吐出し圧力が P_+ に達したときには回転速度は既に N_+ 以下となっているため、更に減速を続け目標圧力曲線上の運転点 d に達する²⁾。

3-2-2 最低圧力可変制御による省エネルギー運転

当社では、前述の推定末端圧力一定制御に当社が独自に開発したEモード運転機能の一つである最低圧力可変制御を追加し、さらに省エネルギー運転を実現する。

一般的に、ビルやマンションの給水設備を計画する場合、建物の配管抵抗分の圧力損失は余裕をもって高めに計算される。このため、計算によって求めた前述の「目標圧力曲線」は、実際の配管抵抗分の圧力損失を加味した「真の目標圧力曲線」よりも高く設定されているケースが多い。すなわち、計算によって求めた「目標圧力曲線」は、必要以上に圧力を生じさせていることになる。最低圧力可変制御は、最低圧力（PB）を適切な値に自動的に切り替えることによって「目標圧力曲線」を切り替え、無駄な圧力を排除し、消費電力を低減する。さらに、切り替えるタイミングを監視する運転状態から自動で判断するため、現場ごとの煩雑な設定は不要である（図7）。

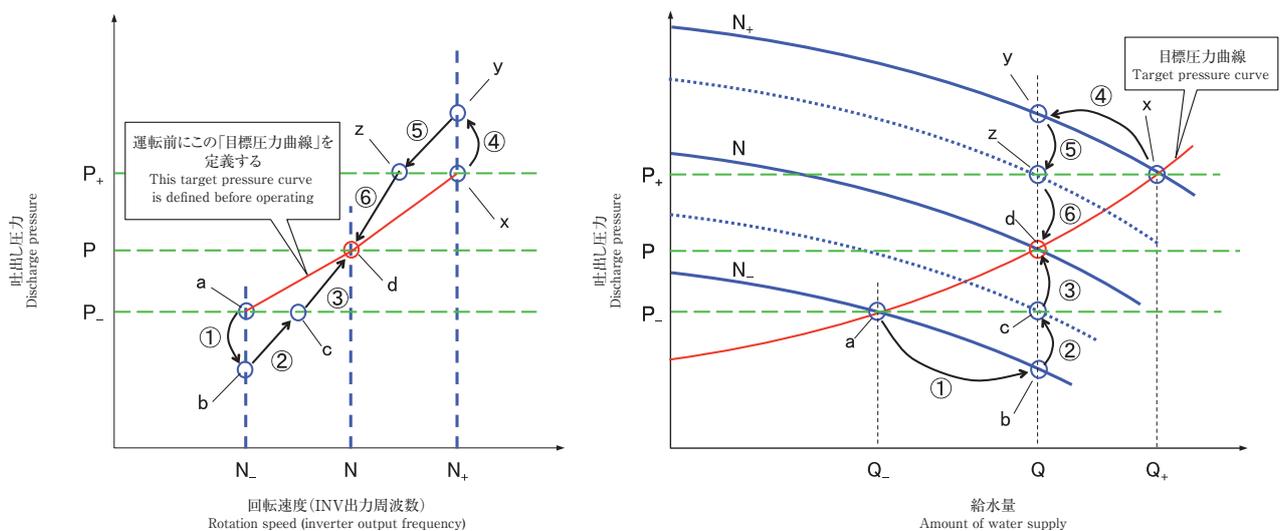


図6 推定末端圧力一定制御のメカニズム

Fig. 6 Mechanism of estimated constant end-pressure control

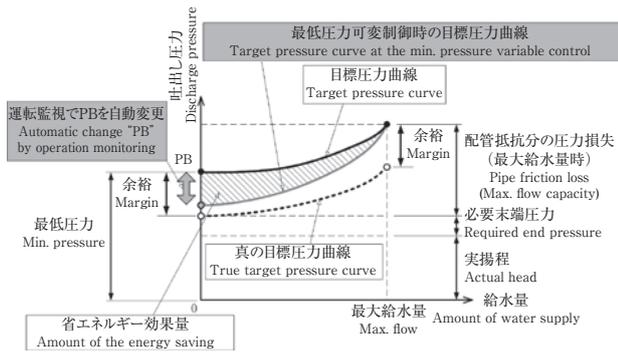


図7 最低圧力可変制御
Fig. 7 The min. pressure variable control

4. 速度制御方式の台数制御運転

4-1 単独交互運転／並列交互運転／台数制御運転

速度制御方式で2台のポンプを備えた給水装置は、同時運転可能台数が1台の場合、2台の場合で、それぞれ単独交互運転、並列交互運転と呼ぶ。また、ポンプ3台以上を備え、より大水量まで給水可能な給水装置は、台数制御運転と呼び、当社ではポンプを最大6台まで備えた台数制御形仕様（写真3）をラインアップしている。台数制御運転の場合も同時運転可能台数が全台の給水装置と、1台少ない給水装置を用意している。

ポンプを複数台備えた給水装置には、次のような効果があり、給水装置の主流となっている。

- ①ポンプ複数台で給水を分散するため、1台当たりの運転時間短縮による、ポンプの長寿命化。
- ②ポンプを複数台で同時運転することによって、大水量に対応。
- ③ポンプの故障時やメンテナンス時に、他のポンプで運転可能なため、断水を防止。



15-08 03/248

写真3 台数制御形給水装置 (F3100型)

Photo 3 Water supply equipment with multi-unit control (Model F3100)

4-2 複数台ポンプの運転制御

速度制御方式の給水装置は、給水量に応じてポンプを追加・解列し、同時運転台数を最適に制御する。また、先発ポンプを切り替えることで、ポンプごとの運転時間のムラを極力少なくしている。次に、給水量に応じた運転制御の一例を示す。

- ①水の使用がない場合、吐出し圧力は停止圧力に加圧されて、ポンプは停止している。
- ②水の使用があり、吐出し圧力が始動圧力まで低下すると、先発ポンプ（例：1号ポンプ）が始動する。
- ③給水量の増減によって、回転速度を制御し、推定末端圧力一定制御などの速度制御を行う。
- ④給水量が更に増加すると、同時運転可能台数を上限に、必要に応じて後発ポンプが順次始動する。（追加）
- ⑤給水量が減少していくと、後発で始動したポンプから順次停止する。（解列）
- ⑥水の使用がなくなると、先発ポンプは吐出し圧力を停止圧力まで加圧して停止する。ここで、先発ポンプが切り替わる。（例：2号ポンプ）

5. 小水量停止制御

使用給水量は、設置場所と時間帯によって大きく異なってくる。例えば、マンションのような住宅設備の場合、深夜などの使用給水量が極端に少ない時間帯は、ポンプが締切運転を継続しないように、ポンプを停止させる必要がある。小水量を検知する方法としては、水の流れ（流量）を機械的に検知するフロースイッチ（図8）を用いる直接的な検知方法等、様々なものがある。

しかし、小水量を検知する度にポンプを停止させると、使用給水量が頻繁に変化する早朝などは、ポンプが停止・始動を繰り返すため、その度に給水圧力が変化し、使用者に不快感を与えてしまう。

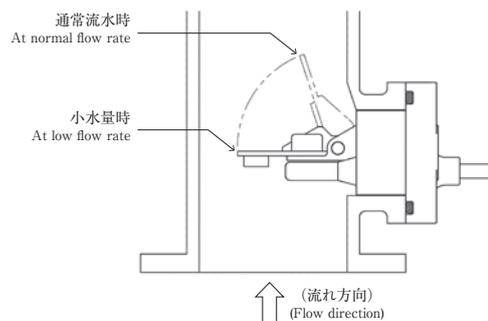


図8 フロースイッチ
Fig. 8 Flow switch

そこで、当社の給水装置は、過去の運転状況からの学習機能による始動頻度過多防止の小水量停止制御を採用し、的確な小水量停止動作をさせて、無駄な停止を避け、給水圧力の変化を極力少なくしている。

6. 停電後の復電時動作

給水装置は、停電が解除されて復電すると、自動的に再始動し、停電前の自動運転に復帰する機能を備えている。

しかし、停電が長時間にわたった場合、停電中に給水栓から水の使用があると、給水管内の圧力が急激に低下し、給水管内に空気が混入する場合がある。この状態で復電してポンプが再始動すると、急激に給水管内の圧力が回復するため、給水管内に混入した空気がポンプの性能をはるかに超える圧力で圧縮される。この圧力が空気から水に伝わりウォータハンマ現象を引き起こすと、給水管や周辺機器に強い衝撃を与え、最悪の場合、損傷するおそれがある。

当社の給水装置は、復電後に自動で再始動する場合、ポンプの回転速度を緩やかに上昇させて、復電前の圧力まで回復させる制御を備えている。このため、給水管内に空気が混入していても、前述のようなウォータハンマ現象が起こることはなく、給水管等に衝撃を与えることはない。

7. 保護機能

給水装置は、ポンプ・インバータ・電動機の故障や、寿命の短縮の原因となる事象に対し、その事象を発生させないような機構を設けたり、それらを検知し、ポンプを強制的に停止させたり、警報出力したりする機能を備えている。代表的なものを次に挙げる。

7-1 ポンプの保護機能

7-1-1 ポンプ空運転の防止

ポンプ内に水が十分満たされない状態で、ポンプが運転する（空運転）と、給水不可能となるだけでなく、摺動部で発熱し、特にポンプの軸封部が著しく損傷する。

これを防ぐため、水源の受水槽の濁水や、ポンプ吐出し圧力の低下（エアロック現象）を検知して、ポンプを強制停止させている。

7-1-2 ポンプ締切連続運転の防止

小水量停止機能の故障や、停止圧力設定の不備等によって、ポンプの締切運転が長時間継続すると、ポンプ内の水が過熱し、樹脂材・ゴム材が損傷するなどして、ポンプが破損する。

これを防ぐ手段として、ポンプ吐出し側の配管から常

時水を逃がす機構を設け、熱がポンプ内に蓄積しないようにしたり、温度センサをポンプの近傍に取り付けて、ポンプ内部の水の温度上昇を直接検知してポンプを停止させたりしている。

7-2 インバータの保護機能

インバータは、過電流・欠相・過熱等の外的要因によるインバータの故障を未然に防ぐために、様々な保護機能を備え、検出した場合には該当のポンプを停止させる。

当社の給水装置は、インバータの保護機能が働いた場合、1回目の検出では警報を出力せずに該当ポンプから他のポンプに運転を切替え、再び該当ポンプが運転したときに再度保護機能が働いた場合に警報を出力し、該当ポンプを停止する。このように、2回連続して保護機能が働いてから警報を出力することで、排除すべき外的要因を明確にするとともに、1回目の検出の後に何らかの形で外的要因が解消された場合には、給水能力を低下させることなく継続的な給水を可能にしている。

7-3 電動機保護機能

電動機の過負荷・過電流の保護については、インバータが備える保護機能を使用し、漏電検知については、ポンプごとに設けた漏電遮断器で行うのが一般的である。このように、各種電気的な保護機能を制御盤に備え、電動機焼損や感電等を防いでいる。

8. 特殊仕様／特別附属品

本給水装置には、設置先の事情に応じた、様々な製品仕様・特殊仕様・特別附属品の要求があり、即応できるように適宜対応方法を用意している。

8-1 製品ラインアップ

様々な要求仕様に対応するため、前記以外に、高層ビル向けに高揚程ポンプを搭載した仕様（写真4）、受水槽と一体型とした仕様（写真5）、ポンプ部を水中ポンプに変更した仕様（写真6）など、当社ではこれらを、別途それぞれ製品シリーズ化して販売している。

8-2 特殊仕様・特別附属品

その他の特殊仕様として需要が多いのは、維持管理の要求を反映した、運転・異常信号の追加・変更等による制御盤の仕様変更や、高温水の取扱液に対応した給湯加圧形仕様、電源電圧が三相400V級に対応した異電圧仕様様が挙げられる。また、水質に対して注意が必要な用途で、接液材料の変更の要求もある。このように、特殊仕様は多岐にわたる。

特別附属品としては、振動を基礎へ伝えないための防振架台（写真7）や、屋外設置を可能とするための屋外



15-08 04/248

写真4 高層ビル用高揚程タイプ給水装置 (F3100 BN-EV型)
Photo 4 High-head water supply equipment for high-rise buildings (Model F3100 BN-EV)



15-08 07/248

写真7 防振架台
Photo 7 Vibration isolation platform



15-08 05/248

写真5 受水槽付給水装置 (F3200型)
Photo 5 Water supply equipment with reception tank (Model F3200)



15-08 08/248

写真8 屋外カバー
Photo 8 Outdoor cover



15-08 06/248

写真6 水中ポンプ給水装置 (F3100 BN-BM型)
Photo 6 Water supply equipment with submersible pump (Model F3100 BN-BM)



15-08 09/248

写真9 遠方監視器
Photo 9 Remote monitor

8-3 制御システムバックアップ仕様

給水装置は重要なライフラインの一つであり、万一の故障にも極力断水時間を短くしたいという市場の要求は強い。このような要求に対し、当社では特殊仕様の一つとして、制御システムバックアップ仕様を用意している。本仕様は、予備用としての制御基板と圧力センサを装備しておき、使用中の制御基板や圧力センサの異常が発生した場合に、自動で予備用の制御基板と圧力センサによる運転に切り替わり、正常時と同様の自動運転が継続可能である。より信頼性の高い給水が可能な本仕様は、F3100型全ての機種で対応可能である。

カバー（写真8）、給水装置の運転状況を管理人室等の離れた場所から監視可能な遠方監視器（写真9）等の需要が多く、当社としても即応できるよう用意している。

9. おわりに

速度制御方式は、ON/OFF制御方式に比べて消費電力が低減できるため、ランニングコストの面から採用いただくケースが増えており、現在では給水装置の主流となっている。また、重要なライフラインの一つを担う装置として、故障や断水を極力避けるための保護機能やバックアップシステムを備えているが、適切なメンテナンスを必要とする装置でもある。本稿で紹介した、速度制御方式の給水装置に関する、技術的なポイントについてご理解いただき、適切に使用していただける一助となれば、幸いである。

参考文献

- 1) 日本電機工業会技術資料JEM-TR226「汎用インバータ（入力20A以下）の高調波抑制指針」。
- 2) エバラ時報 No.225（2009-10）「給水装置における省エネルギーの変遷と今後の動向」。

「給水装置 製品技術紹介」

- 第1回 各種給水方式の特徴について（14年10月発行済み，No. 245）
- 第2回 給水装置の選定，設置，配管，配線方法（15年1月発行済み，No. 246）
- 第3回 ON/OFF制御方式について（15年4月発行済み，No. 247）
- 第4回 速度制御方式について（本稿）
- 第5回 増圧給水方式について（15年10月発行予定）
- 第6回 給水装置に関するその他の製品技術紹介（16年1月発行予定）

※第5回からの内容に変更がある場合があります。

