

消防ポンプ車の流量自動制御装置の開発について

Development of flow control apparatus to fire engine

城 田 剛*
松 田 啓 行**
北 村 昭 犬*

We developed the apparatus in order to control a pump by a nozzle operator.

The system is composed of electromagnetic flowmeter, controller of discharge outlet valve, controller of accelerator, operation switch and signal lines of a fire hose.

These controllers according to PID are operated by extinguishing fireman.

1. はじめに

筒先放水員とポンプ車機関員との容易な意思疎通、また一歩すすめて、筒先放水員によるポンプ制御は、消防の長年にわたる夢であり、これまでも数々の研究・開発がなされてきたが、いまだ実現には至っていないほどの難問である。

現在の技術、あるいは将来の技術進歩を見越して、過去の研究・開発の成果や失敗を基に再び挑戦することとなった。

この開発では、筒先放水員の手元操作によってポンプを確実に制御することを目標とし、開発内容を大別すると、

- ① 制御装置の開発
- ② 通信用導線入りホースの開発
- ③ 通信装置の開発

の三部門となる。今回の消防ポンプ車の流量自動制御装置の開発は、このうちの制御装置の開発に属するものである。

2. 開発の基本方針

前記三部門の開発の基本方針をまとめると次のとおりである。

- (1) 信号伝達は信頼性を第一に考え有線によるものとする。
- (2) 筒先からの信号により、流量及び圧力（エンジン回転）を制御する。
- (3) 通常の操作時の安全性はもとより、ホースの損傷、通信機の故障時にも制御の安全性が保た

れるシステムとする。

- (4) 通信機等の故障時、手動操作が可能なものとする。

3. 流量自動制御装置の必要性

一般に消防ポンプ車による送水操作は、ホースの延長本数や揚程等を考慮して、放口コックを手動で開いた後に延長ホース先端に結合した放水ノズル部の圧力が所定の圧力になるようにポンプ車の圧力計を見ながら、あるいは所定の流量になるように流量計を見ながら、エンジンスロットルを手動操作してポンプ回転数の調整を行っている。

(1) 圧力計によるポンプ車の運用

消防活動において、ホースの延長本数により、流水摩擦損失が異なり、また、揚程等の状況が変わった場合に消防ポンプ車のポンプ圧力と放水ノズル部の圧力との間に様々な圧力差を生じるためホースラインの延長状況に応じて、設定圧力を計算しなければならない。

また、各放水口に異なった口径のノズルが結合された場合、複数の放水口から異なった流量を吐出するためには、圧力調整以外に手動放水口コックの開度によっても調整しなければならないが、この操作は非常に難しいので、極端に使用流量の違うノズルの併用（例えば21型とフォグガン）は危険であるので禁止されているのが現状である。

ポンプによる送水操作における圧力制御は、応答性がよいので、これまで消防ポンプの自動制御装置として電子ガバナや電磁弁を利用した様々なポンプ圧力自動制御装置がこれまでに考

* 第三研究室 ** 狛江消防署

案されているが、どれも制御手段が圧力のみによるものであるため消防ポンプの自動制御としては十分なものではなく、送水操作のごく一部の自動化を可能にしているにすぎない。

(2) 流量計によるポンプ車の運用

最近のポンプ車には放口に流量計が装備されており、ホースの延長数に関係なく、筒先で使っているノズル種別がわかっているならば、適正な流量を流量計を見ながら送水すればよく、ポンプ車の運用が非常に容易にできる。

また、筒先でポンプからの送水操作を遠隔操作する場合も流量計による制御を行えば、システムを容易に構築することができる。

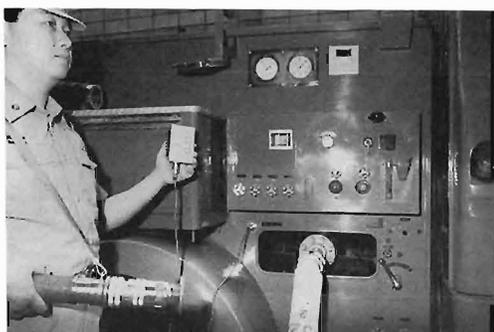


写真1 実験ポンプ車の外観

以上のことから今回開発した消防ポンプ車の流量自動制御装置は、流量計を主体としたマイクロコンピュータシステムによって構成されている。

4. 流量制御装置の概要

(1) システムの構成

図1に示すとおり、ポンプ車の流量計を主体に一連の制御システムを構築し、筒先員によるポンプ制御を行うものである。各部の詳細は次のとおりである。

ア 流量計

口径50mmの電磁流量計で演算器の関係から電流出力型(4~20mA)のものを使用した。

イ 放口バルブ

口径50mmの空気圧駆動式放口バルブを採用した。

電気駆動式放口バルブも検討したが、駆動速度が遅く、これを速くするためには駆動部が大きくなること、組込みスペースが十分にとれないことなどから今回は空気圧駆動式とした。

また、このバルブは流量制御が容易に行なえるように、開度と流量の特性が比例関係に近いものを使用した。

なお、弁作動空気圧は3.5~5.0kgf/cm²、信号空気圧は0.2~1.0kgf/cm²である。

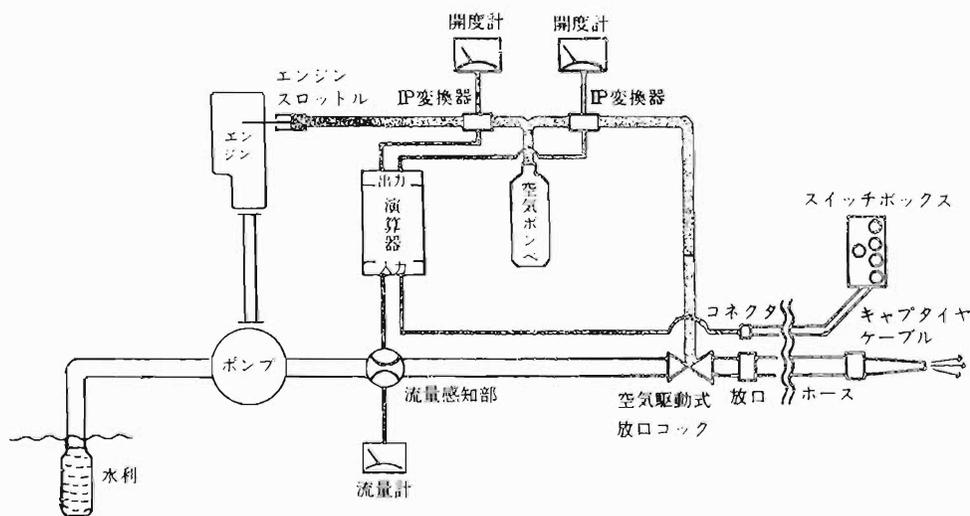


図1 試作ポンプ車の構成図

ウ 演算器

比例・積分・微分制御（PID制御）を中心としたプログラマブル調節計で、試作段階であるのでプログラミング、各種パラメータ変更等が自由に行なえるものを使用した。

エ エンジンスロットル用エアシリンダ

送水流量を制御するため、ポンプ回転数の制御も必要である。その駆動エンジンの回転数制御には空気圧駆動式のシリンダが使用されている。

このシリンダの駆動空気圧は3～7 kgf/cm²信号空気圧は0.2～1.0kgf/cm²のものである。

オ 電流—空気圧変換器（I P変換器）

放口バルブ及びエンジンスロットル制御用エアシリンダを空気圧で駆動させるため、演算器から出力される電流信号を空気圧に変換するものである。

性能は、4～20mAの電流信号を0.2～1.0 kgf/cm²の空気圧信号に変換できる。

カ 空気源

今回の試作では、空気ポンプ（150kgf/cm²、8ℓ型）を用いたが、実用機ではコンプレッサーを車載する方法等がある。

キ 筒先の制御器及び信号伝送ケーブル

筒先側の制御器は、押しボタンスイッチで構成し、各押しボタンの流量設定等は500ℓ/min（21型想定）、200ℓ/min（フォグガン想定）、増量、減量、停止とした。

制御信号のポンプ車への伝送には、6芯のキャプタイヤケーブルを使用した。

(2) 作動原理

筒先側の制御器からの流量設定値と流量計からの実流量値が演算器に入力されると、それらの値が一致するように空気圧駆動式放口バルブを動作させる電気信号が、電流—空気圧変換器に送られ、空気圧によって放口コックが動作する。このとき、エンジンスロットルはアイドル状態で放口コックが開いても流量は上昇しない。この状態を演算器が確認判断するとスロットルを動作させる電気信号を出力させ、電流—空気圧変換器を介して、スロットル制御用エアシリンダを動作させ、規定の回転数に設定させる。

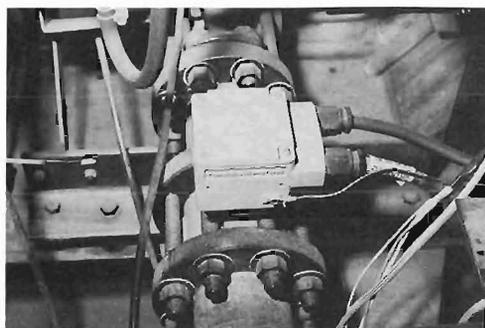


写真2 放口バルブ・流量計検知部

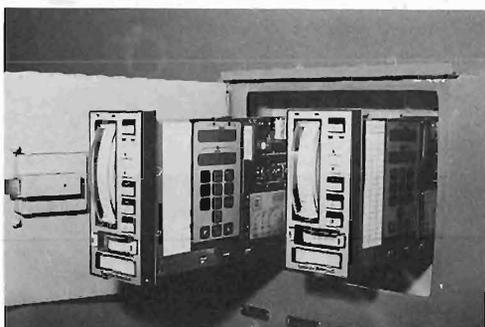


写真3 演算器

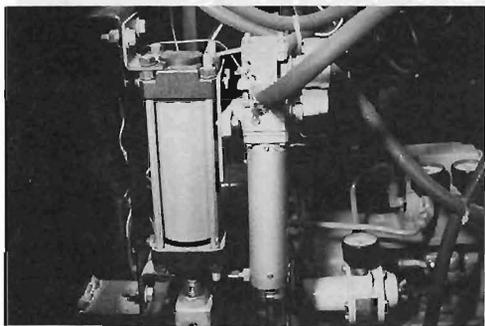


写真4 エンジンスロットル用シリンダ

(3) 安全機能

基本的な作動原理は以上のとおりであるが、このシステムでは演算器に他の様々な確認判断機能を持たせ、消防活動上の安全性も高めている。その機能を図2に示す。

5. 性能実験

試作システムでは、反応速度等の制御に必要なパラメータを演算器のROM（読み専用メモリ）への書込みによって自由に設定できるのでシステ

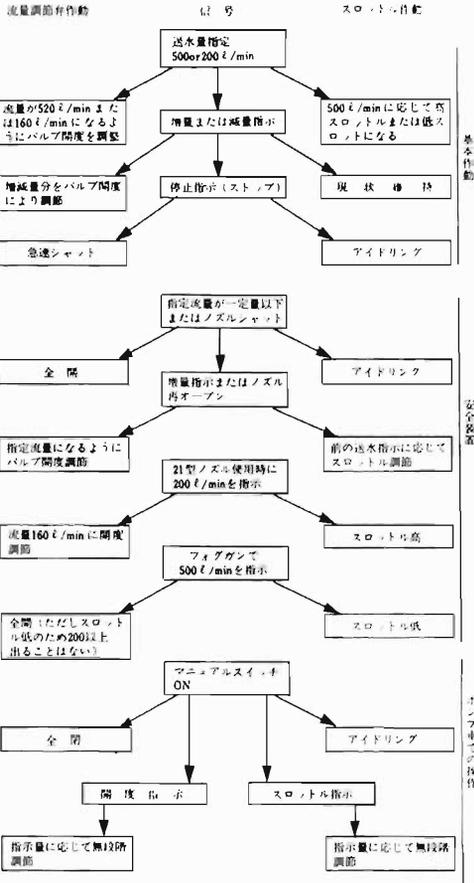


図2 信号と作動の関係

ムの調整を兼ねて作動実験を行った。

実験は、21型ノズル、フогガンを用いて行い、円滑な操作ができるように各種パラメータ設定を行った。その結果は計画どおりの制御が可能であった。

バルブ開閉動作に使用した比例・積分・微分(PID)制御の伝達関数は一般に

$$K_P \left(1 + \frac{1}{T_I \cdot S} + T_D \cdot S \right) \dots\dots(1)$$

K_P : 比例感度 T_I : 積分時間

T_D : 微分時間 S : 演算子

で表されるが、通常の調節計では、次式の比例帯(PB)の幅で比例動作の状態を表す。

$$PB = \frac{a}{b} \cdot N (\%) \dots\dots(2)$$

a : 変化量の全目盛に対する% b : 出力圧力

N : 変化範囲圧力(最大圧力-最小圧力)

本試作機では、微分制御は行わず($T_D = 0$)、事実上、比例・積分(PI)制御を行っている。この比例・積分制御を用いてポンプ車の流量制御を行うと、比例帯が小さい場合反応速度が速くなるが、図3のような行過ぎ量が大きく流量が安定しない。

また、比例帯が大きいと図4のように安定して目標値に近づくが、制定時間、残留偏差が大きくなる。このような比例帯による特性に修正を加えるため、若干の積分動作を加味した。

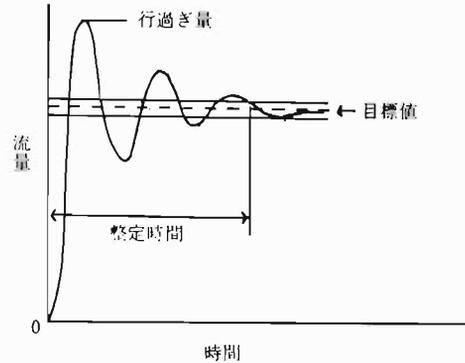


図3 比例帯が小さい場合

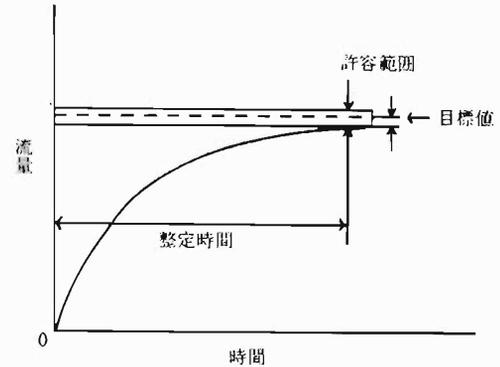


図4 比例帯が大きい場合

実験の結果、比例帯70~100%、積分時間0.05~0.09分が適当であり、消防活動上、安全な制御が可能となった。制定時間約3秒、残留偏差は500 l/minに対して10~20 l/minである。

放水開始信号を送ってから、エンジン回転を上げ、ポンプ圧力を上げるまでに予備送水を安全のために行なうので実際の流量は、図6のように変化し、定常な放水までには約7秒かかる。シャット

トについては約1秒で終了する。

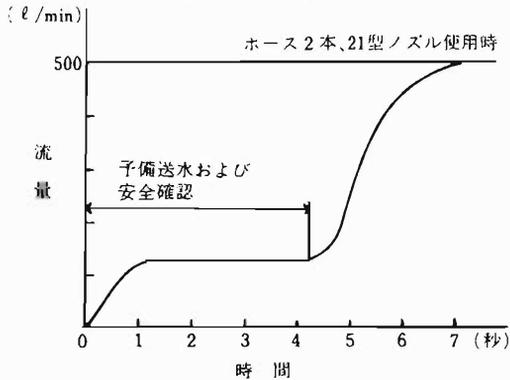


図5 試作ポンプ車の作動例

6. まとめ

ポンプ車の流量自動制御装置の特徴をまとめると次のとおりである。

(1) 長所

ア 適正放水流量は圧力と違い、ノズルの種類によりほぼ定まり、ホースの延長数や揚程を

考えなくても流量を指定すれば自動的に必要量が供給できる。したがって、筒先放水員の操作で放水流量を制御する場合にはシステムの構築が容易であり、ポンプ運用の自動化、簡素化が可能になる。

イ ポンプ車の各放口にこのシステムを用いれば、21型ノズルとフォッグガンのように運用の異なる器具の併用が可能となる。

(2) 短所

1 放口1ホースラインの場合にしか対応できず、二又分岐の使用ができない。

7. おわりに

今回の試作実験によってポンプ車流量自動制御装置についての技術的確認及び実用性の確認が得られた。今後の研究課題として線入りホースの開発、制御信号伝送技術の開発及び自動制御装置に対する安全化機能の確保等について継続して研究開発していく予定である。