

消防ポンプ車の流量遠隔制御装置の開発について (第4報)

— 多口放水制御システムの試作について —

Development of flow control apparatus to fire engine (Series 4)

— The trial product of flow control system on plural hose lines —

矢ヶ崎 孝*

奥原 明*

目黒 公一郎*

概要

筒先放水員の手元操作により、ポンプからの放水状態を制御する消防ポンプ車の流量遠隔制御装置を開発を進めている。第4報では、試作した多口放水制御システムについて、そのシステムの構成と制御特性確認結果について概要を紹介する。

結果は、基本的な放水作業は行えるものの、システム全体として流量を制御することはむづかしく、今後さらに実用システムとしての改良・開発を必要とするものである。

We are developping flow control apparatus of fire engine that we make it possible for the fireman to control the fire engine by nozzle operater.

We report in this paper on the specification for the structure, and the result of control characteristics of flow control system on plural hose lines.

As a result, the trial product is impossible to control conletely, we intend to improve and to reflect a system plan on a practical use at an active fire fighting scene.

1 はじめに

消防活動の自動化、省力化、安全化を図るため、筒先放水員の手元操作により、ポンプからの放水状態を制御する消防ポンプ車の流量遠隔制御装置の開発を進めている。現在までの開発経緯については、所報25, 26, 28号(昭和63, 平成元, 3年)で述べたとおりであるが、確認のため、再度全体構想について紹介する。

この開発では、筒先放水員の手元操作により、ポンプからの送水状態を制御することを目標とするものであり、開発内容を大別すると、次の三部門で構成される。

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

今回の第4報では、試作した多口放水制御シス

テムの諸元・性能、制御特性について報告するものであり、これはポンプ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、放口バルブ開度及びエンジン回転(ポンプ圧力)を制御することにより、流量制御を行う。
- (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。

*第三研究室

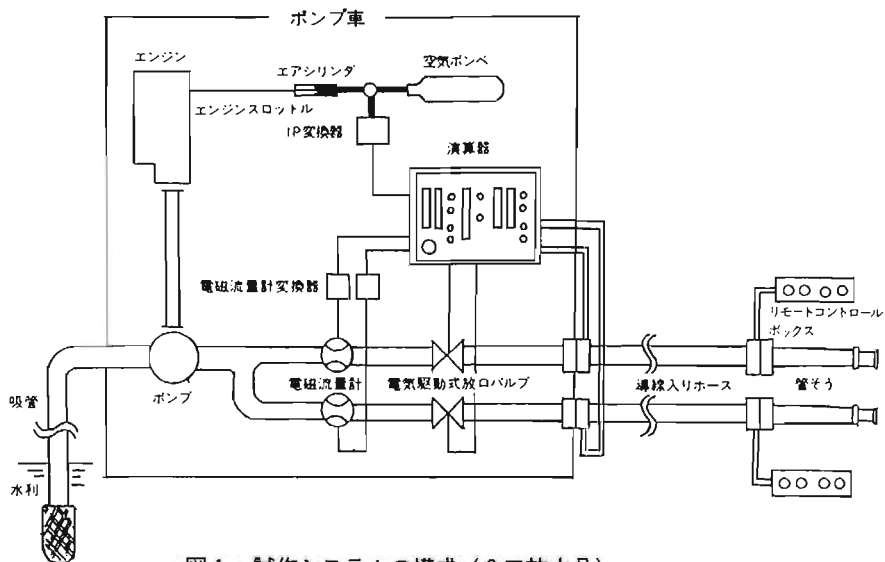


図1 試作システムの構成（2口放水分）

表1 消防ポンプ車の型式・性能等

シャシ	製作所名	いすゞ
	年式型式	47年TR20カイ
	車両総重量	6,575kg
	車両重量	6,190kg
エンジン	型式	D500型
	総排気量	4,978cc 6気筒
	最高出力	125ps/3,200rpm
ポンプ	規格型式	2段MESD
	規格放水量 (高)	20kgf/cm ² 1,000ℓ/min
	(低)	15kgf/cm ² 1,600ℓ/min

3 流量制御装置の概要

(1) システムの構成

試作システムは、図1に示すとおり、消防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、筒先放水員によるポンプ制御を行うもので、4口の放水線を有するものである。

なお、ぎ装に供した消防ポンプ車の型式・性能等は、表1に示すとおりで、各部の詳細については次のとおりである。(写真1参照)

ア 流量計

口径50mmの電磁流量計で、変換器分離型のものを使用した。(写真2参照)

イ 流量計変換器

電磁流量計の流量に比例した信号（励磁コイルによる起電力）を流量値に変換して演算器に出力するもので、演算器の関係から電流出力型（4-20mA DC）のものを使用した。

ウ 放口バルブ

口径50mmの電気駆動式ウイング偏心軸回転

型調節弁、以下「フローウイングバルブ」という。)を使用した。



写真1 実験ポンプ車の外観

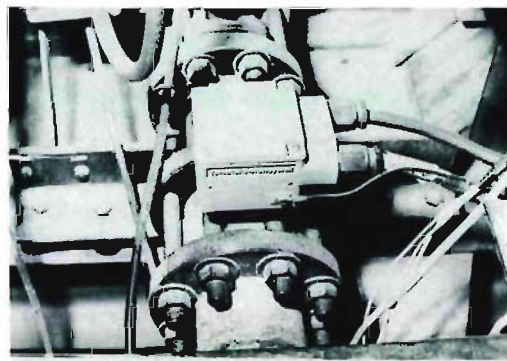


写真2 電磁流量計

使用したフローウイングバルブは、開度60度全開、最大流量1,200ℓ/minのもので、動的安定性に優れ、流量制御が容易に行えるよう

に、開度と流量の特性が比例関係に近いものを使用した。(写真3、図2参照)

エ 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、現在試作段階であるのでプログラミング、各種パラメーターの変更等が自由に行えるものを使用した。

コントロール部は、ポンプ圧及び流量の増減スイッチ、オープン・シャットスイッチ、インターホーンジャック(筒先との連絡用)、フログガン・二又分岐・21形ノズル切換えスイッチ、緊急停止ボタンが設置されている。

(写真4参照)

通信部は、DC12Vで通話と制御信号を送受信する、全二重タイプのものである。

放水コントロールのパラメーター変数域及び固定記憶データは表2に示すとおりである。

オ 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を使用した。

このシリンダの駆動空気圧は3~7 kg f/cm²、信号空気圧は0.2~1.0 kg f/cm²のものである。(写真5参照)

なお、空気圧供給源としては、空気呼吸用8ℓポンペまたは汎用のエアコンプレッサーを使用した。

カ 電流-空気圧変換器(iP変換器)

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気信号を空気圧に変換するものである。

性能は、4~20mAの電気信号を0.2から1.0 kg f/cm²の空気圧信号に変換できるものである。

キ 圧力変換器

ポンプ室の圧力(適応0~35 kg f/cm²)を電気信号0~20mADCに変換し、演算器に入力させるものである。

ク 筒先制御器(リモートコントロールボックス)及び信号伝送ライン

筒先側の制御器は、オープン・シャット、流量増減スイッチの押しボタンスイッチ及びインターホーンジャック(ポンプ車側との連

絡用)から構成されている。

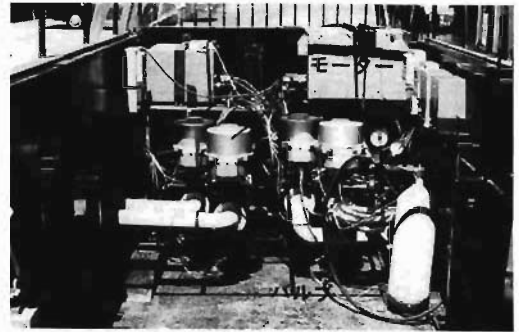


写真3 放口バルブ

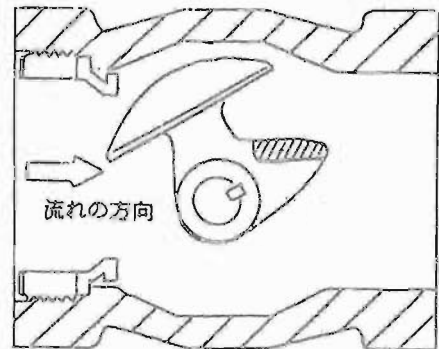


図2 フローウイングバルブの基本構造

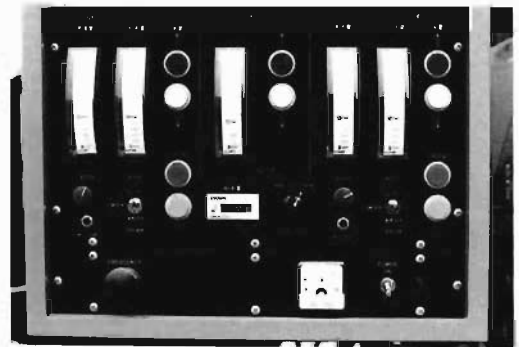


写真4 演算器

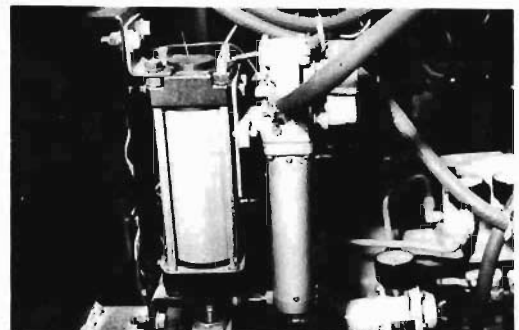


写真5 エアシリンダ

表2 パラメーター変数域及び固定記憶データ

○ P I D定数

定数	数	変数域	固定記憶データ
Hq	流量比例帯	799.9 ~ 0 (%)	1.0 進数 0.3. 0.0
Tiq	流量積分時間	99.99 ~ 0 (min)	1.0 進数 0.1. 0.0
Tdq	流量微分時間	99.99 ~ 0 (min)	1.0 進数 0.0. 0.0
Rz	流量出力変化率リミット	99 ~ 0 (%/min)	1.0 進数 9.9
Hp	圧力比例帯	799.9 ~ 0 (%)	1.0 進数 7.9. 9.9
Tip	圧力積分時間	99.99 ~ 0 (min)	1.0 進数 0.5. 0.0
Tdp	圧力微分時間	99.99 ~ 0 (min)	1.0 進数 0.1. 0.0
Sl	圧力出力変化率リミット	99 ~ 0 (%/min)	1.0 進数 1.0
m	P I D計算周期を 100msec×mに設定する		1.6 進数 0.4

○ 流量設定定数 100 % = 1,400 ℓ/min

定数	数	変数域	固定記憶データ
Qs	シャット流量	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 0.0
Qg	通常放水流量	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 3.6
Qb1	分岐1本放水流量	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 3.6
Qb2	分岐2本放水流量	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 7.2
Qf	フォグガン流量	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 1.1

○ 圧力設定定数 100 % = 3.5kg/cm²

定数	数	変数域	固定記憶データ
Pas	シャット・シャット圧力	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 0.0
Pst	シャット・通常放水圧力	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 1.4
Psb1	シャット・分岐1本放水圧力	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 1.4
Psb2	シャット・分岐2本放水圧力	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 3.5
Psf	シャット・フォグガン圧力	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 5.1
Ptt	通常放水・通常放水圧力	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 3.5
Ptb1	通常放水・分岐1本放水圧力	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 3.5
Ptb2	通常放水・分岐2本放水圧力	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 3.5
Ptf	通常放水・フォグガン圧力	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 5.1
Pb1b1	分岐1本放水・分岐1本放水圧力	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 3.5
Pb1b2	分岐1本放水・分岐2本放水圧力	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 3.5
Pb1f	分岐1本放水・フォグガン圧力	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 5.1
Pb2b1	分岐2本放水・分岐2本放水圧力	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 3.5
Pb2f	分岐2本放水・フォグガン圧力	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 5.1
Pff	フォグガン・フォグガン圧力	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 5.1

信号伝送ラインとしては、ねじ式結合金具の導線入りホースを使用した。

(2) 作動原理

作動原理の概要は次のとおりである。

- ア まず、簡先放水員のリモートコントロールボックスのスイッチ操作により、設定流量値が入力される。
- イ 現在の実流量値が演算器に入力され、設定流量と実流量の値が一致するように電気駆動式放口バルブを作動させる電気信号が送られ、バルブが作動する。
- ウ エンジンスロットルは、アイドル状態のままでは放口バルブが開いても流量は上昇しない。そこで、演算器からエンジンスロットルを作動させるための電気信号が電流-空気圧変換器 (I P変換器) に入力されて、空気駆動式エアシリンダーを介して、エンジン

○ 流量設定に伴う定数

定数	数	変数域	固定記憶データ
Qmx	流量設定の上限	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 9.8
Qup	流量1 + 1回押加算	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 0.4
Qdo	流量1 + 1回押減算	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 0.6
Qcu	(設定流量-実測流量) が正である時の上限	99 ~ 0 (%)	0.5
Qcd	(設定流量-実測流量) が負である時の下限	99 ~ 0 (%)	0.5

○ 圧力設定に伴う定数

定数	数	変数域	固定記憶データ
Pmx	圧力設定の上限	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 4.5
Pan	圧力設定の下限	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 0.0
Pup	(設定流量-実測流量) がQcu%を越えた時設定圧力に加算する圧力	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 2.0
Pdo	(設定流量-実測流量) がQcd%より小さくなった時設定圧力より減算する圧力	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 0.1
Supe	圧力1 + 1回押でスロットルへのD/A変換出力目標に加算する値	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 0.6
Sdown	圧力1 + 1回押でスロットルへのD/A変換出力目標より減算する値	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 0.8
Pc	(設定圧力-実測圧力) の絶対値の閾値	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 9.5
Smax	スロットルへのD/A変換出力目標の最大値	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 4.5
Smin	スロットルへのD/A変換出力目標の最小値	99 ~ 0 (%)	1.0 進数 0.3

○ ランプレート定数

定数	数	変数域	固定記憶データ
Qupr	動作開始時の流量設定値に達するまでの設定値の増加速度	99 ~ 0 (%/sec)	9.9
Qdorr	動作終了時の流量設定値に達するまでの設定値の減少速度	99 ~ 0 (%/sec)	9.9
Pupr	動作開始時の圧力設定値に達するまでの設定値の増加速度	99 ~ 0 (%/sec)	2.0
Pdorr	動作終了時の圧力設定値に達するまでの設定値の減少速度	99 ~ 0 (%/sec)	2.0

スロットルを作動させ、所定の流量とする。

(3) 安全機能

基本的な作動原理は前(2)のとおりであるが、このシステムでは、例えば流量異常、圧力異常といった種々確認判断機能を演算器に持たせ、消防活動上の安全性も高めている。

4 性能確認実験

実際に放水した時の、各部の作動状況、並びに実放水量等の連続的な変化を確認する目的で確認実験を行った。

(1) 実験項目

ア 1口放水制御時における流量の連続的な変化の確認。

イ 2口放水制御時における流量の連続的な変化の確認。

(2) 測定機器等

ア 流量計

国際技術開発㈱ EMF-100C

- イ 圧力変換器
(株)共和電業 PG-20KU
- ウ アンプ
(株)共和電業 DPM-310AS
- エ ペンレコーダー
東亜電波工業(株) EPR-231A
- オ 65mmねじ式導線入りホース
- カ ノズル (21mm, 25.4mm)
- キ フォグガン
- ク ストップウォッチ

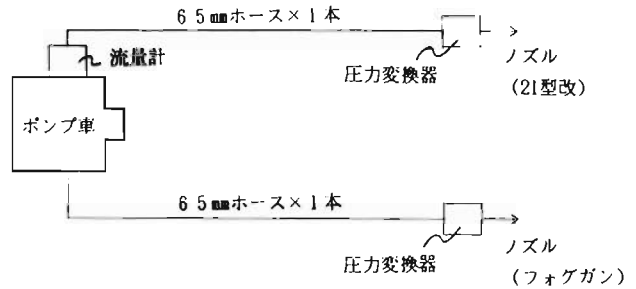


図4 2口放水制御実験

表3 1口放水制御実験

ノズル口径、ホース本数	放水流量 (ℓ/min)
21型改ノズル ホース5本	停止→500→400→600→停止
21型改ノズル ホース2本	
フォグガン ホース5本	停止→180→停止
フォグガン ホース2本	

表4 2口放水制御実験

ノズル口径	放水流量 (ℓ/min)
第一線 21型改ノズル	停止①→560 (安定) →④→停止
第二線 フォグガン	停止②→180 →③→停止

※ ○数字は放水操作手順を示す。

(3) 実験方法

ア 1口放水制御時における流量の連続的な変化を確認するため、表3に示す放水制御を行い、流量と筒先圧力を測定した。(図3参照)

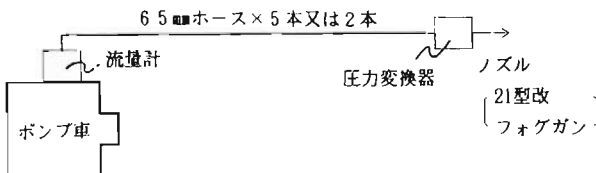


図3 1口放水制御実験

イ 2口放水制御時における流量の連続的な変化を確認するため、表3に示す放水制御を行い、前アと同様に測定した。(図4参照!)

(4) 実験結果及び考察

ア 実験結果

(ア) 1口放水制御時における測定結果は表5に示すとおりである。

(イ) 2口放水制御時における測定結果は表6に示すとおりである。

イ 考察

(ア) 21型ノズル使用時

流量は、各流量設定時において、概ね、その設定値に近い実流量を得られた。

実流量が設定流量に到達するまでの時間は数秒であり、完全に安定するまでの時間は初期設定 (500 ℓ/min) 時に24~34秒、流量を変化させた場合に13~40秒、停止時に8~11秒要しているが、概ね良好な制御特性を示している。

(イ) フォグガン使用時

21型ノズル使用時と同様であるが、初期設定 (180 ℓ/min) 時の安定時間が23~57秒とホースの本数による影響が見られる。停止時は8~10秒である。

初期設定時の安定時間が長くかかる場合があるのは、使用ホースの本数等の違いから、ポンプ圧力と流量制御バルブ開度の設定に制御時間がかかっているものと考えられる。

ポンプ圧力が高いと、実流を安定して出すことができる。

(ウ) 2口放水制御時の特性

1口放水制御時には、比較的安定した放水量でその機能を維持していたが、2口放水制御になると、いずれの場合も制御に不安定な傾向を表した。特に、先行放水線の放水量にうねりが発生した場合、なかなか収束する傾

表5 1口放水制御時実験結果

ノズル口径 ホース本数	制御信号 (ℓ/min)	設定流量 (ℓ/min)	実流量 (ℓ/min)	筒先圧力 (kgf/cm ²)	設定流量到 達時間(sec)	安定時間 (sec)
21型改ノズル ホース5本	停止 ↓ 500 ↓ 400 ↓ 600 ↓ 停止	500	460~505	2.6~3.1	5	31~34
		400	370~455	1.8~2.5	1.5~4	13~30
		600	610~620	4.4~4.6	12~17	19~21
		0	—	—	—	9~10
21型改ノズル ホース2本	500 ↓ 400 ↓ 600 ↓ 停止	500	470~495	2.7~3.0	5	24~27
		400	420~435	2.2~2.5	1.5~10	25~40
		600	580~615	4.0~4.5	11	19~20
		0	—	—	—	9~11
フォグガン ホース5本	停止 ↓ 180 ↓ 停止	180	168~180	12.5~13.0	1~3	48~57
		0	—	—	—	8~9
フォグガン ホース2本	180 ↓ 停止	180	168~180	12.9~13.0	1~2	23~29
		0	—	—	—	9~10

表6 2口放水制御時実験結果

	ノズル口径	設定流量 (ℓ/min)	実流量 (ℓ/min)	筒先圧力 (kgf/cm ²)	設定流量到 達時間 (sec)	第二線放水後 における実流 量の揺れ幅 (ℓ/min)	第二線放水後 における実流 量の安定時間 (sec)
第一線	21型改ノズル	560	500~560	3.8~4.0	10~11	80~110	16~74
第二線	フォグガン	180	—	7.0~11.6	10~14	—	16~28

※ 第一線を放水し、流量が安定した後に第二線を放水して変化を確認した。

向を見ることができず（流量の揺れ幅 80~110ℓ/min, 安定時間16~74sec）, 制御パラメーターの定数設定をさらに細かく変更して検証する必要がある。

今後は、制御機構の見直しや、安定度の高い制御プログラムへの改良等、システム全体の信頼性、安定性の向上に努め、実用化を図っていきます。

5 おわりに

消防ポンプ車の流量遠隔制御装置の実用化は大いに期待されるところであるが、現状の試作機では、まだいくつかの問題解決が必要です。