

ポンプ車の遠隔自動制御装置の開発について

Development of an Automatic Remote Control System for a Fire Engine

岸 田 順 次*

矢ヶ崎 孝*

米 田 雅 一*

概 要

ポンプ車の自動化及び省力化をテーマとして、筒先担当員の手元操作によりポンプ車からの放水状態を制御するポンプ車の遠隔自動制御装置の開発を進めている。今回試作したポンプ車は、放水圧力を一定に保つ自動圧力調整機能と必要により放水量の自動制御を行う自動流量遠隔制御装置等を備え、遠隔操作は、消火用ホース内の水を伝播する音響信号を利用したシステムを搭載している。本報は、これらのシステムの構成及び実験結果に加え、前号で報告した遠隔自動制御装置付二又分岐金具の改良についてその概要を報告するものである。

As a part of an efficient fire fighting, an automatic remote control system has been developed, which controls the water flow from the fire engine by the manipulation at the nozzle.

A newly built fire engine as a trial is loaded with a remote control system. The system is composed of an automatic water pressure control device, an automatic water flow control device and a remote control device which makes use of the sound signals through water in the hose.

The report shows the outline of the system and the results of the tests.

1 はじめに

消防活動の迅速化及び隊員の労務負担の軽減を目的として、平成5年度から平成7年度までの3ヶ年計画で消防車両の自動化、省力化等の研究開発について推進している。本研究開発は、消防ポンプ車のポンプ運用の自動化に注目し、筒先担当員の手元操作により放水状態を遠隔で制御可能なポンプ運用遠隔自動制御装置の開発を目指すものである。

研究開発の項目は、次の3点に絞っている。

- (1) 二又分岐金具の遠隔自動制御装置の開発
- (2) 遠隔操作用信号伝達装置の開発
- (3) ポンプ車の遠隔自動制御装置の開発

初年度は、(1)の放水体系に必要な不可欠な二又分岐金具のコックを筒先担当員が遠隔で自動的に開閉可能な遠隔自動制御装置付二又分岐金具（以下、「自動二又分岐」という。）を開発し、前号で報告した。

平成6年度は、(2)と(3)の研究開発に該当するポンプ車の遠隔自動装置及び音響通信装置の研究開発と、併せて既に試作済の自動二又分岐の改良をテーマとし、トータルシステムとしての試作機の完成を目指して研究開発を

進めてきた。その結果、自動圧力調整機能等の各種自動制御を備えたポンプ車、及び筒先担当員とポンプ車間の通信を行う音響通信装置を開発し、更に自動二又分岐の配管形状等を改良し、各種実験データを得た。

2 システムの概要

(1) システム構成

システムの構成は、図1に示すように、放口の流量制御等を行うための主制御装置、ポンプ圧力を一定に制御するためのエンジン回転制御装置、筒先担当員とポンプ車間の遠隔操作を行うための音響通信装置及び改良を加えた自動二又分岐関係から構成される。写真1にシステムを組み込んだ試作機（ポンプ車）を示す。



写真1 各試作機を組み込んだポンプ車

*第三研究室

(2) 諸元・性能

試作機は、A-2級ポンプ装置を搭載した車両に組み込んだものである。音響通信装置及び電動弁を放口部に取り付けるために、吐出側の配管の長さを調整したほかは、配管系統及び揚水機構などの形状は、現行の普通ポンプ車と同様である。諸元・性能を表1から表3に示す。

表1 諸元・性能 (ポンプ制御関係)

項目	内容	
ポンプ装置	A-2級	
自動圧力調整装置	制御方式	スロットル駆動装置によるエンジン回転自動制御
	制御範囲	3 kgf/cm ² から15kgf/cm ²
	制御精度	±0.5kgf/cm ²
	電源	DC24V (車両電源)
安全装置	エンジン回転保持機能 〔吸水圧力異常低下時〕 〔中継圧力異常上昇時〕 揚水不能自動停止機能 手動制御装置ほか	
自動流量調整装置	制御方式	シーケンサーによる電動弁の開閉自動制御
	制御範囲	0 l/min~1,500 l/min
	流量精度	±5%
	電源	DC24V (車両電源)
自動揚水装置	制御方式	電磁弁と電磁シリンダーによる真空ポンプ制御
	作動方法	押しボタン式
	真空ポンプ	電磁クラッチ方式
	スロットル制御	電磁シリンダー方式
	電源	DC24V (車両電源)

表2 諸元・性能 (管そう)

項目	内容	
管 そ う	形状	φ65mm消防用管そう
	音響発生器	加振器×1
	発生信号数	4種類
	電源	ニカッド、2,200mAh 10.8V (1.2V×9ヶ)
	重量	約7 kgf

表3 諸元・性能 (媒介金具・音響分析装置)

項目	内容	
媒介金具	形状	φ65mmおす×φ65mmめす 消防ねじ
	音響受波器	ハイドロホン×2
音響分析装置	電源装置	入力電源DC24V (車両) 出力電源1: +5V 出力電源1: +12V チャージコンバータ×4
	増幅器	チャンネル数: 2 アンプゲイン: 60db MAX ローパスフィルタ: 50Hz
	A-D変換器	A-D分解能: 12bit サンプルスピード: 約1kHz 汎用シグナルプロセッサ
	制御器	搭載CPU: 80486 DX2 66MHz メモリー: 4MHz OS: MS-DOS Ver.6.3 入出力インターフェース: RS-232-C×2 VGA出力×1 KYBD入力×1
	検波器	出力チャンネル×2 (TTLレベル) 同期制御出力×1 ゲイン制御出力×1

3 試作機の条件等

消火活動現場は、千差万別である。放水体系もこれに伴い色々な方法で行われているところである。今回、ポンプ車の遠隔自動制御装置の研究開発を着手するにあたり、最も一般的で多くの場合に使用される「一線放水体形」と二又分岐金具を使用した「分岐放水体形」を同時に延長放水する体形において、各々の筒先担当員が遠隔で放水の制御が可能なトータルシステムの開発を条件とした(図1参照)。

(1) ポンプ車関係

ア 自動圧力調整装置

(ア) 放水量及び吸水条件に関係なく、設定した圧力にポンプ圧力が常に一定となるようエンジン回転(ポンプ回転)を自動制御するものであること。

(イ) 手動操作が行えるものであること。

イ 自動流量制御装置 (主制御装置)

(ア) 電動弁の開閉により放水量の調整を行うものであること。

(イ) 制御可能な放口は、2放口であること。

(ウ) 自動圧力調整時で一方の放口でポンプ圧力を上昇させた時のみ他方の放口の放水量を一定に保持する

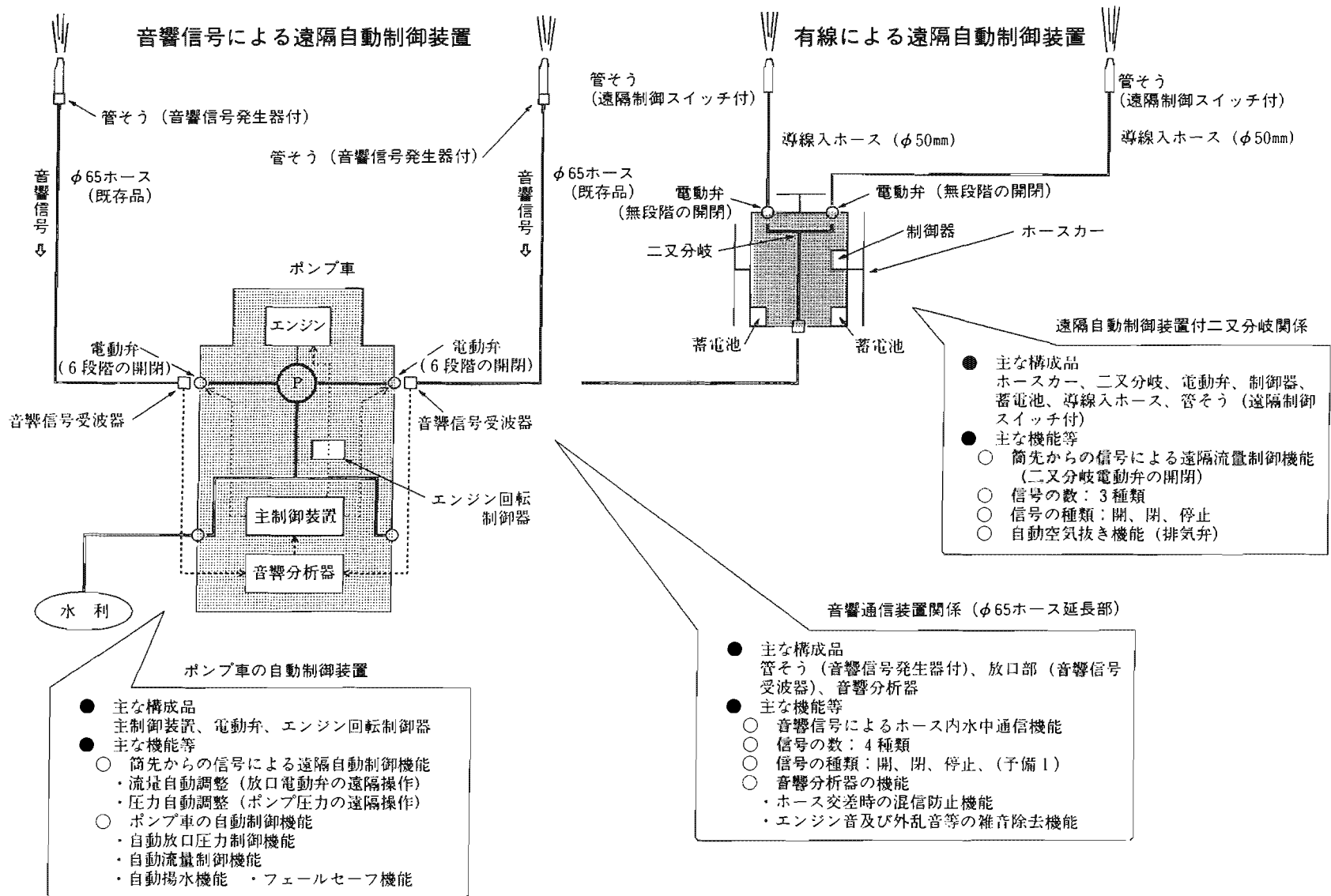


図1 トータルシステムの概要

ものであること。

ウ 自動揚水装置

ボタン操作のみで自動的に真空ポンプを作動させ、エンジンスロットルを上昇させて揚水を開始し、揚水完了後は、自動的にエンジンスロットルを下げて真空ポンプを停止するものであること。

エ 安全な放水が行えるよう、フェールセーフ機能を有するものであること。

(2) 音響通信装置関係

ア 消火用ホースを媒体として音響信号を伝播させ次の条件を満足するものであること。

(ア) 伝達可能な距離は、通常の使用状態で消火用ホース10本（約200m）以上であること。

(イ) 消火用ホースの交差時に他の放口からの信号による混信がないこと。

イ 管そう部は、音響発生器を内蔵し軽量で操作性の良い形状であること。

ウ 媒介金具は、音響信号受波器を内蔵しφ65mmの放口部に装着可能な形状であること。

エ 音響分析装置

(ア) 媒介金具部で受信した管そうからの音響信号を分析し信号として認識するものであること。

(イ) 分析処理された信号は、ポンプ車の主制御装置に電氣的に接続されてポンプ運転の制御信号として送出される。

(3) 遠隔自動制御装置付二又分岐の改良

ア 配管形状の変更

試作機の配管形状は、進行方向の左側に給水部を設けていたが、延長ホースを離脱して二又分岐に迅速に結合できるように給水部を後部とする。

イ 自動排気弁

二又分岐への初期送水時に発生するホース内の空気を自動的に抜くことができる自動排気弁を新規に備える。



写真2 コントロールパネル

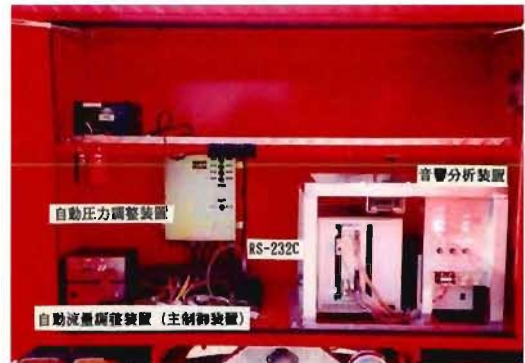


写真3 各制御装置(後部ボックス内)

操作手順は、コントロールパネルの圧力設定パネルで3 kgf/cm²以上の任意の圧力に設定し自動の押しボタンを押す。これにより、ポンプ圧力は自動的に設定圧力まで昇圧するとともに放水中のポンプ圧力を常時監視し、設定した圧力に保持する。

イ 自動流量調整装置(主制御装置)

本装置は、シーケンサーにより電動弁に開閉制御し放水量の自動制御を行う機能を有するものである。

各部の構成は、ポンプ車の左右放口部に各1個取り付けたボールコック式の電動弁と電磁流量計、及びこれらを制御するためのシーケンサーを組み合わせたものである(写真4参照)。

4 主な構造

(1) ポンプ車関係

ポンプ車関係の制御系統図を図2に示す。

ア 自動圧力調整装置

本装置は、エンジン回転制御装置によりポンプ回転を制御しポンプ圧力を一定に保持する機能を有するものである。

各部の構成は、車両後部ボックスの制御部及びポンプ上部に設置したポンプ圧力センサー部、エンジン回転を制御するスロットル駆動部を組み合わせたものである(写真2から3参照)。



写真4 電動弁と電磁流量計

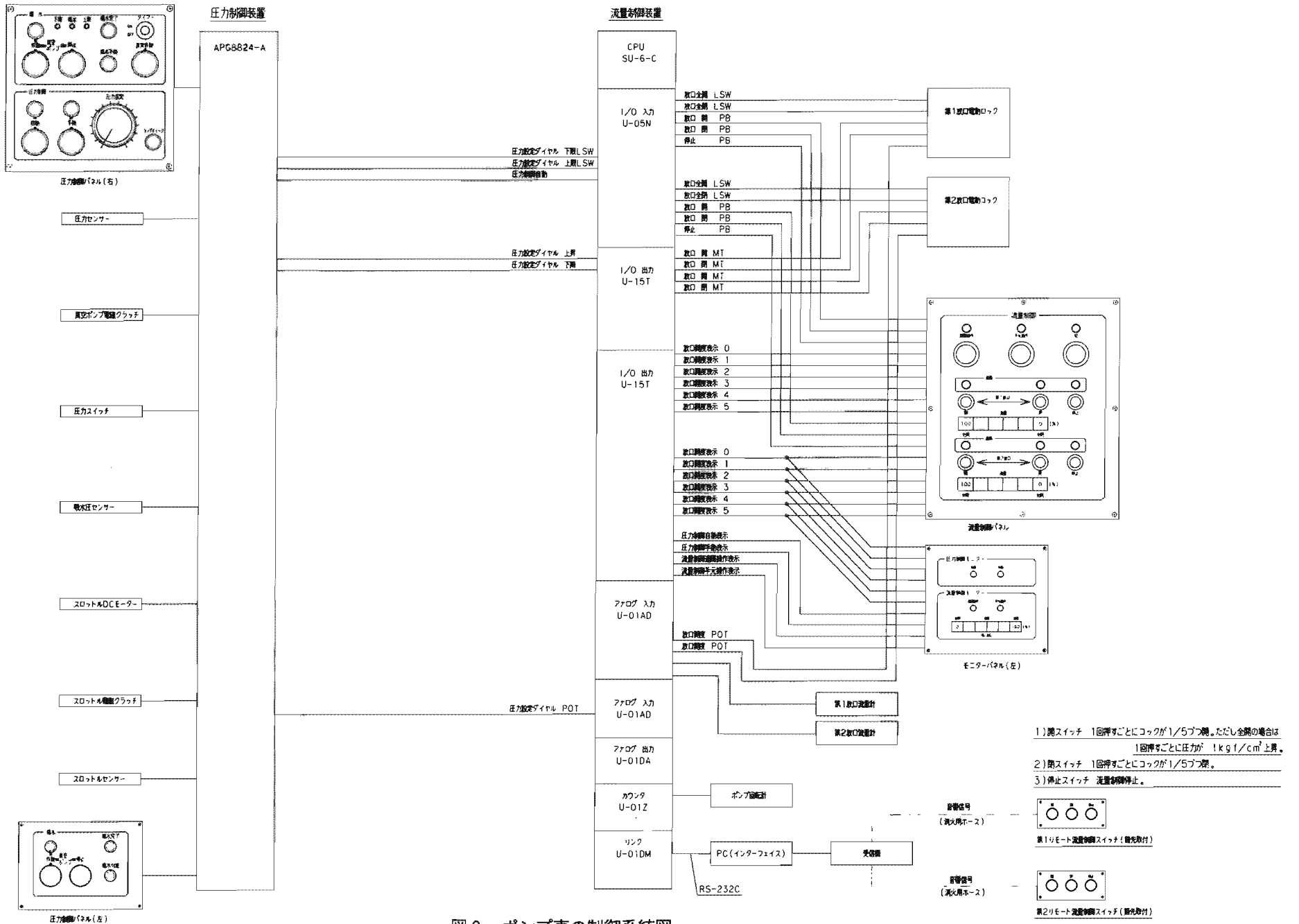


図2 ポンプ車の制御系統図

ウ 自動揚水装置

本装置は、既に東京消防庁で採用しているシステムで吸水操作がボタン1つで行えるものである。

各部の構成は、電磁クラッチ式の真空ポンプ、エンジンスロットル駆動部、ポンプ圧力スイッチ及びリレーボックスを組み合わせたものである(写真5参照)。



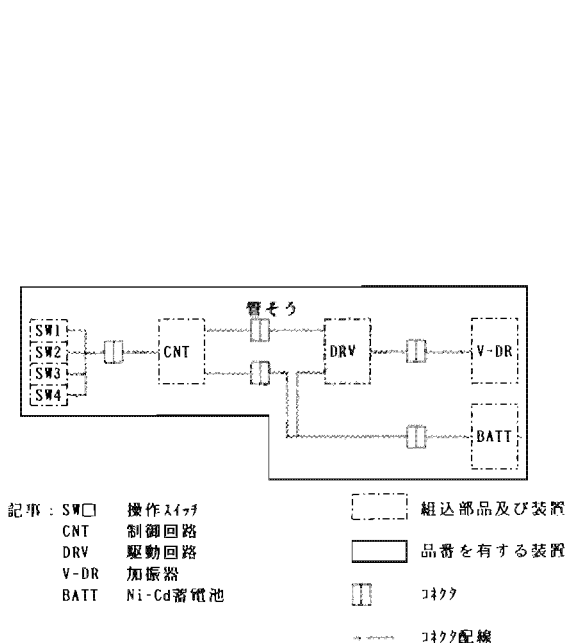
写真5 エンジンスロットル駆動部

エ 音響通信装置との接続

音響通信装置との接続は、パソコン等の情報交換に広く使用されているRS-232Cとした。

(2) 音響通信装置

音響通信装置の制御系統図を図3に示す。



ア 管そう

管そうは、ポンプ車に対して「開」「閉」「停止」及び「予備」の4つの音響信号を送出する、押しボタン式の操作スイッチを装備している。

管そう内部の構成は、ホースに振動を与え音響信号を発生させるための電磁式の加振器、加振器の制御を行うための駆動回路、駆動電源としてのニッカド電池から成る(写真6参照)。

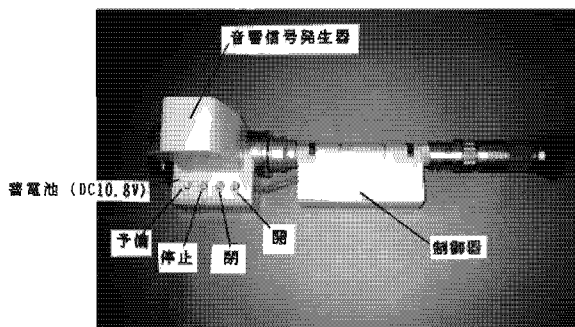


写真6 管そう(音響信号発生器付)

イ 媒介金具

媒介金具は、消火用ホース内の消火水を媒体として伝播してきた音響信号を受信し音響分析装置に電気信号として送出手のものである。

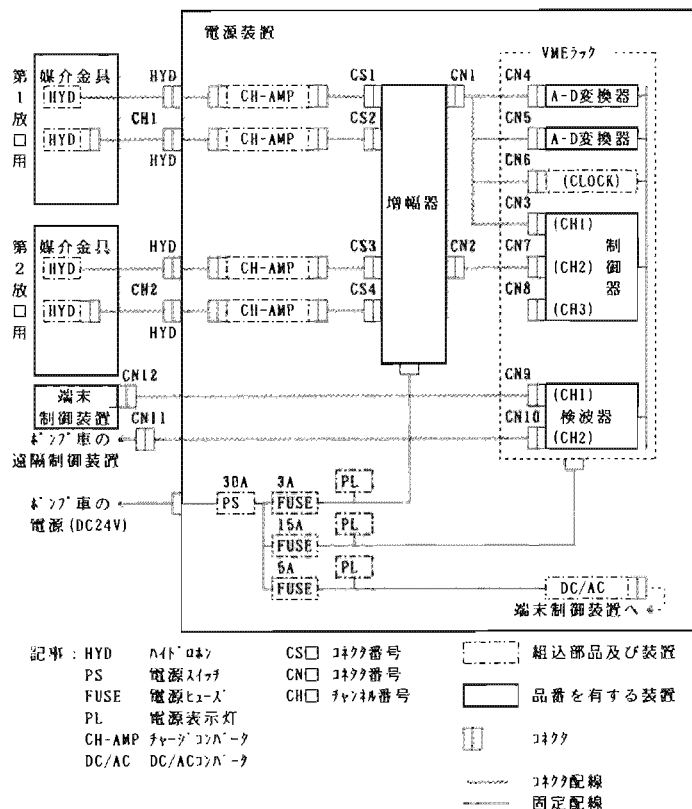


図3 音響信号通信装置の制御系統図

構成は、 $\phi 65\text{mm}$ めすネジ $\times\phi 65\text{mm}$ おすネジのステンレス製の媒介金具に水中マイク（ハイドロホン）を組み込んだものです（写真7参照）。



写真7 媒介金具（音響受波器付）

ウ 音響分析装置

本装置は、媒介金具から送られてくる微弱な電気信号の中の不要な成分を除去し、増幅するとともにA-D変換、及びFFT分析をへて信号認識し、ポンプ車の主制御装置に「開」「閉」「停止」の信号として接続するものである（写真3参照）。

エ ポンプ車側の主制御装置との接続

前(1)エのとおりRS-232Cにより接続する(写真3参照)。

(3) 自動二又分岐

ア 配管形状の改良

写真8及ぶ写真9のとおり配管形状を変更した。これにより、 $\phi 65$ ホース離脱後スムーズに給水部に結合が可能となった。

イ 自動排気弁

フロート式の自動排気弁により初期送水時の不要な空気の排気できる。



写真8 自動二又分岐（改良前）



写真9 自動二又分岐（改良後）

5 各種実験

5-1 ポンプ車の制御装置関係

(1) 自動圧力調整機能

ア 設定条件

(ア) 吸水条件：低落差、吸管12m \times 1本

(イ) 放水条件：第1線及び第2線に $\phi 65$ ホース1本とパーフェクトノズルを接続、第1及び第2放口バルブは、全開

(ウ) 放口圧力：約4 kgf/cm²（ポンプ圧力約5 kgf/cm²）

(エ) 確認事項：

実験No①-1 第1線ノズルの急閉塞
（自動圧力調整機能のON）

実験No①-2 第1線ノズルの急閉塞
（自動圧力調整機能のOFF）

実験No②-1 第1放口バルブの急閉塞
（自動圧力調整機能のON）

実験No②-2 第1放口バルブの急閉塞
（自動圧力調整機能のOFF）

イ 実験結果

(ア) ①-1と①-2の結果を図4及び表4に示す。

a 自動圧力調整機能のOFFの時に第1線ノズルを急閉塞した場合、第1線ノズル圧力は、4.1kgf/cm²から瞬時に9.2kgf/cm²程度まで上昇し6.6kgf/cm²で安定した。

第2線ノズル圧力は、4.1kgf/cm²から瞬時に5.7kgf/cm²まで上昇し5.4kgf/cm²で安定した。

表4 自動圧力調整機能の実験結果（その1）

(kgf/cm²)

実験No	第1線ノズル圧力			第2線ノズル圧力			自動圧力調整
	操作前	操作後	最大圧力	操作前	操作後	最大圧力	
①-1	4.1	6.6*	9.2	4.1	5.4	5.7	なし
②-2	4.2	5.4*	8.8	4.2	4.4	5.7	あり

* 全閉塞状態であり流量は、0ℓ/min

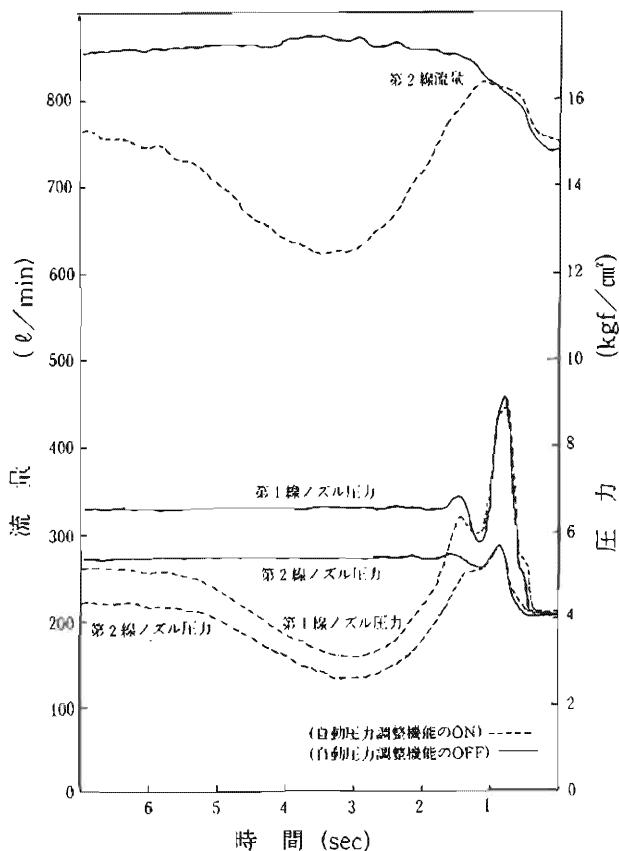


図4 自動圧力調整機能実験結果 (その1)

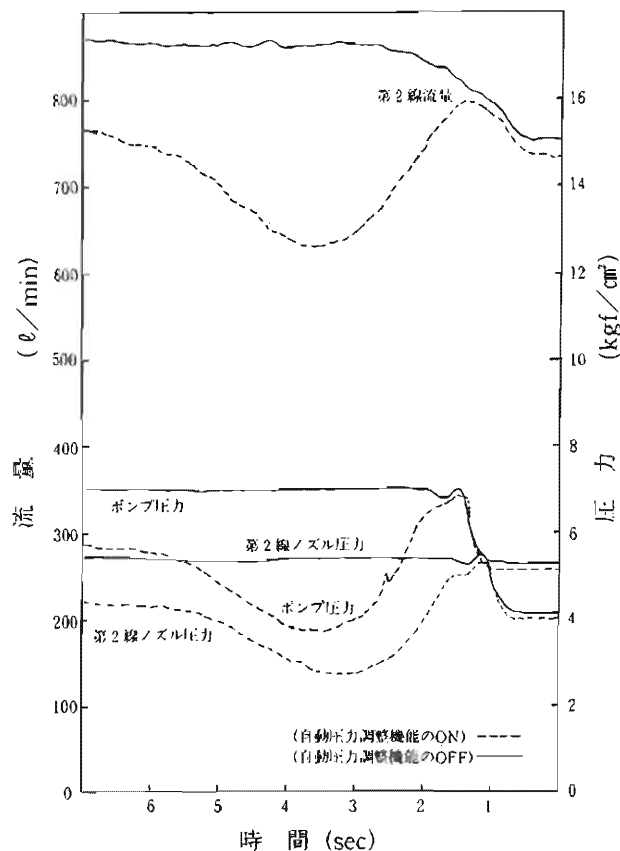


図5 自動圧力調整機能実験結果 (その2)

b 自動圧力調整機能のONの時に第1線ノズルを急閉塞した場合、第1線ノズル圧力は、4.2kgf/cm²から瞬時に8.8kgf/cm²程度まで上昇し5.4kgf/cm²で安定した。第2線ノズル圧力は、4.2kgf/cm²から瞬時に5.7kgf/cm²まで上昇し4.4kgf/cm²で安定した。

(イ) ①-1と①-2の結果を図5及び表5に示す。

a 自動圧力調整機能のOFFの時に第1放口バルブを急閉塞した場合、ポンプ圧力は、5.2kgf/cm²から7.0kgf/cm²程度まで上昇し安定した。

第2線ノズル圧力は、4.1kgf/cm²から瞬時に5.4kgf/cm²まで上昇し安定した。

b 自動圧力調整機能のONの時に第1放口バルブを急閉塞した場合、ポンプ圧力は、5.2kgf/cm²から瞬時に6.8kgf/cm²程度まで上昇し約4秒で5.8kgf/cm²で安定した。第2線ノズル圧力は、4.0kgf/cm²から瞬時に5.4kgf/cm²まで上昇し4.4kgf/cm²で安定した。

表5 自動圧力調整機能の実験結果 (その2)

(kgf/cm²)

実験 No.	ポンプ圧力			第2線ノズル圧力			自動 圧力 調整
	操作前	操作後	最大圧力	操作前	操作後	最大圧力	
①-1	5.2	7.0	7.0	4.1	5.4	5.4	なし
②-2	5.2	5.8	6.8	4.0	4.4	5.4	あり

(2) 自動流量制御機能

ア 設定条件

(ア) 吸水条件：低落差、吸管12m×1本

(イ) 放水条件：第1線及び第2線にφ65ホース1本とパーフェクトノズルを接続、第1放口バルブ全開、第2放口バルブ開度60%

(ウ) ポンプ圧力：約5kgf/cm²第1線の「開」スイッチ操作による圧力の1kgf/cm²増

(エ) 確認事項：圧力上昇に伴う、第2放口の流量制御機能

イ 測定結果

測定結果を図6及び表6に示す。

ポンプ圧力は、第1線の遠隔操作ボタンの「開」により5kgf/cm²から6.7kgf/cm²程度まで上昇し、6.4kgf/cm²で安定した。遠隔操作をした第1放口の流量は、720l/minから850l/minまで上昇した。

表6 自動流量制御機能の実験結果

ポンプ圧力 (kgf/cm ²)	第1放口流量 (l/min)		第1放口流量 (l/min)		
	操作前	操作後	操作前	操作後	最大流量
5.0~6.7	720	850	650	680	740

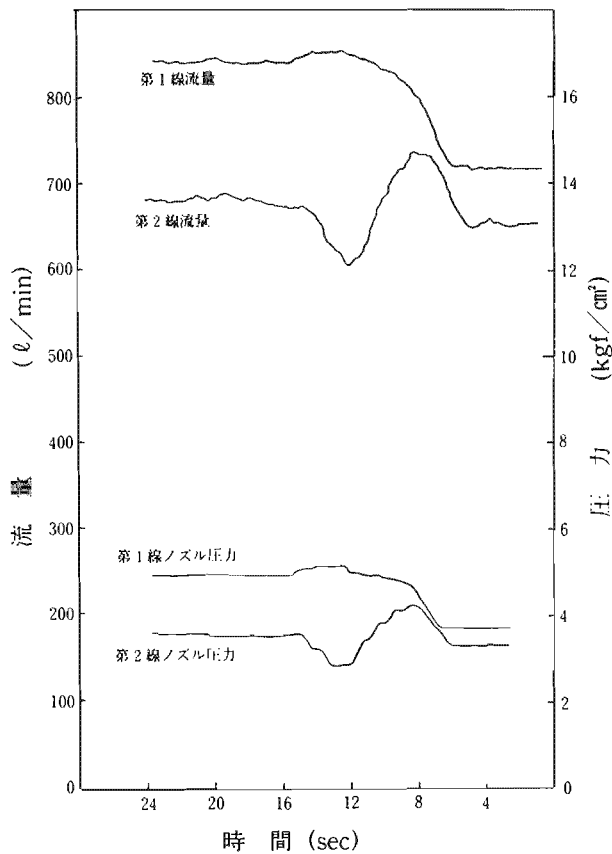


図6 自動流量制御機能の実験結果

第2放口は、650 l/minから740 l/min程度まで上昇し、その後、電動弁の自動開閉により680 l/minで安定した。安定域までの所要時間は、約8秒であった。

(3) 自動揚水機能

本機能は、既に現行のポンプ車で採用しているため測定実験は省略した。

5-2 音響通信装置関係

(1) ポンプ車のノイズ測定

ア 測定条件

ポンプ車の放口部と管そうの根元部に媒介金具（水中マイク）を装着し、放水した状態のノイズ測定を行う。

(ア) ポンプ車と管そう間： $\phi 65\text{mm}$ ホース×2本
(約40m)

(イ) 放水圧力：約2 kgf/cm²

(ウ) 放水状態：ポンプ運転、放水中

イ 測定結果

前(ア)のノイズ波形をスペクトルに処理したものを図7及び図8に示す。

図7の0～5 kHzスペクトルをみると、管そう部及びポンプ部とも低周波域から高周波域に向かってノ

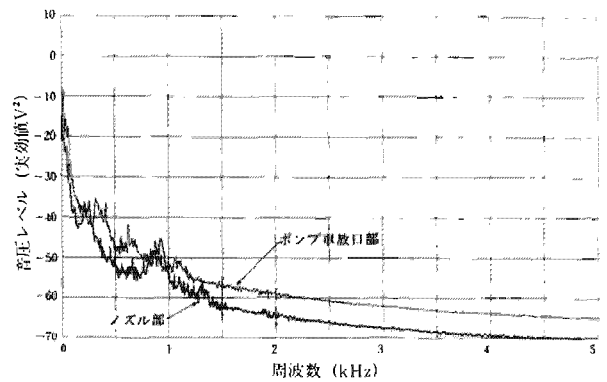


図7 ノイズスペクトル (0～5 kHz)

イズレベルがほぼ同様な傾向で減衰している。管そう部で9 kHz付近とポンプ部で3 kHz付近にレベルの突起した部分が見られる。

図8の0～100 Hzスペクトルをみると、管そう部及びポンプ部ともほぼ同様な波形を示している。また、管そう部及びポンプ部とも14 Hz、28 Hz、56 Hz、74 Hz、付近にレベルの突起した部分が見られる。

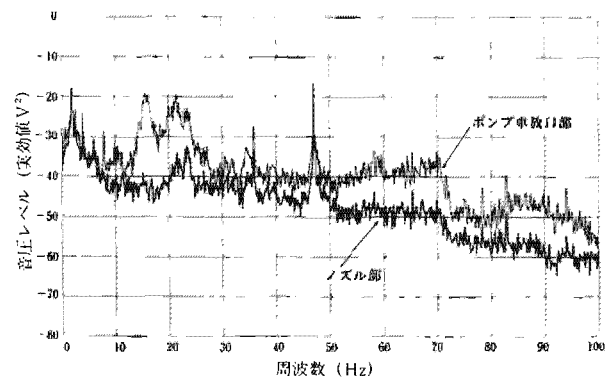


図8 ノイズスペクトル (0～100 Hz)

(2) 信号分析試験

ア 測定条件

ポンプ車の放口部と管そうの根元部に媒介金具（水中マイク）を装着し、放水した状態において、管そう部で音響信号を発生させ、ポンプ車放口部で受波し信号とノイズを分離・認識をする試験を行う。

(ア) ポンプ車と管そう間： $\phi 65\text{mm}$ ホース×2本
(約40m)

(イ) 放水圧力：約7 kgf/cm²

(ウ) 放水状態：ポンプ運転、放水中

(エ) 波形整形：バンドパスフィルター(30 Hz～50 Hz)

イ 測定結果

(ア) 管そう部の音響信号波形、ポンプ車放口部のノ

ズと信号の重たん波形及びバンドパスフィルター（以下「BPF」という。）処理後の波形を図9に示す。ポンプ車放出口部の信号重たん波形には、信号がノイズに埋もれ信号の確認が極めて困難であるが、BPF処理後は、信号が顕著に確認可能である。

(イ) 信号重たんスペクトル波形を図10に示す。4つの信号（32Hz、36Hz、42Hz、46Hz）が確認できる。BPF処理後は、30Hz以下の信号伝達に不要な周波数帯域が急激に減衰していることが確認できる。

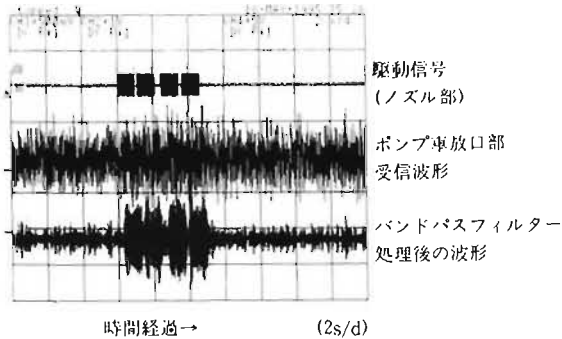


図9 ノイズと信号の重たん波形

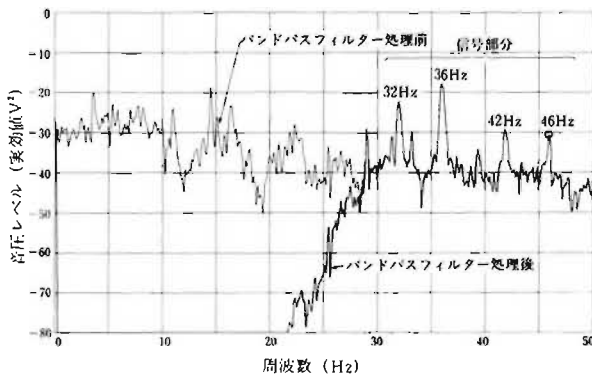


図10 ノイズと信号の重たんスペクトル

(3) 遠隔操作確認試験

ア 設定条件

(ア) ポンプ車と管そう間：φ65mmホース×10本
(約200m)

(イ) 延長条件：ほぼ直線状態

(ウ) 放水圧力：1.4kgf/cm²

(エ) 放水量：約300ℓ/分

イ 結果

音響分析装置で、管そうの各操作スイッチの信号を検出するとともに、インターフェースであるRS

-232Cを介してポンプの主制御装置に送出することを確認した。管そうの各操作スイッチの操作に対応した放水の制御が行えることを確認した。

(4) 自動二又分岐

ア 配管形状を変更することにより、大幅に操作性が向上した。

イ 自動排気弁は、二又分岐、ホース及びポンプ室に残留してる不要な空気を初期送水時、有効に排出した。

6 実験結果のまとめと考察

(1) 自動圧力調整装置

ア 自動圧力調整機能のONにおける圧力制御機能については、従来のポンプ車で発生する放水条件の変化に伴う圧力上昇を抑えることができ良好な結果がえられた。

イ 自動圧力調整機能のON-OFFに係わらずノズル部で急閉塞した場合、ウォーターハンマー現象が生じた。しかし、放口コックの急閉塞では生じない。

ノズル部急閉塞で自動圧力調整機能のONの時にウォーターハンマー現象が生じるのは、ノズル部で急閉塞直後は、ノズル部の圧力が上昇し、その圧力上昇がホースを介してポンプ車に伝わっていく。ポンプ部に装備してある圧力センサーでノズル急閉塞による圧力上昇を検知するまでにホースの長さ按比例した時間を要する。このため自動圧力調整機能のONの時でもノズル急閉塞によるノズル部の圧力上昇が生ずるものと推定される。

(2) 自動流量調整装置

自動圧力調整機能のONの条件で自動流量制御を行うという新しい機能については、概ね当初の成果が得られた。

従来、ポンプ装置1台で複数放水を行う条件下で圧力制御と流量制御を同時に行う場合の問題点は、圧力と流量が相互に影響するため、目的の流量に到達するまでハンチングを起こしてかなり時間がかかった。

今回、流量制御をより確実に短時間に制御させるために、圧力制御の応答性を流量制御作動時のみ一時的に落とし、流量制御の時間を8秒間と定めた。8秒間のタイマーとしたのは、ハンチングが概ね8秒程度で落ちつくことと、圧力制御の応答性を復帰させる必要があるためである。

(3) 音響通信装置

音響通信に関しては、低周波域から高周波域まで音響通信の測定をし通信に有効な周波数を選定してきた。その結果、消火用ホース及びホース内の水を媒体とし

て通信を行う場合、低周波域が有利であることが判明した。

また、通信可能な距離として200m以上(ホースカー1台分のホース延長長さ)の通信が可能であることが確認できた。

(4) 自動二又分岐

配管形状の変更及び自動排気弁の改良の効果が得られた。

7 今後の予定

試作機の検証結果を踏まえ、研究開発の最終年度である平成7年度は、消防署で試験運用が可能な実用的なトータルシステムの製作を予定している。検証結果等、次号で報告する予定である。

8 その他

本研究開発のうち、音響通信装置に関する部分については、東京消防庁消防科学研究所第三研究室と三菱重工業株式会社船舶・海洋事業本部艦艇部との共同研究で行っている。

(同事業本部艦艇部での共同研究は、長崎造船所艦艇部が中心となっている。)