

ガンタイプノズルによる泡放射に関する検証

佐藤 建司*, 野本 秀和*, 渡邊 茂男*, 高井 啓安**

概 要

ガンタイプノズルが各中隊へ順次配置されているなか、21 型改ノズルと同様にラインプロポーションナーを用いてガンタイプノズルによる泡放射を行うことができれば、より柔軟な消火活動が可能になる。

このことから、ガンタイプノズル用のラインプロポーションナーを使用し、ガンタイプノズルで泡放射を行った場合の発泡倍率及び射程等の測定を行った。

その結果、筒先に低発泡用簡易発泡器を取り付けない状態でも低発泡の放射泡が得られ、射程も 21 型改ノズルによる泡放射と比較して遜色ないことが確認された。

1 はじめに

現在、当庁で採用しているラインプロポーションナー(500 型)は、21 型改ノズルで泡放射を行うときに使用するもので、ガンタイプノズル(以下「GN」とする。)による泡放射での使用は想定されていない。しかし、GNが各中隊へ順次配置されているなか、普通ポンプ車からラインプロポーションナーを用いたGNによる泡放射を行うことができれば、ポンプ小隊及びノズル種別による制約を受けない柔軟な消火活動が可能になる。

そこで、GNによる泡放射が可能なラインプロポーションナー(以下「GN用ラインプロポーションナー」とする。)を使用し、市販の低発泡用簡易発泡器(以下「発泡器」とする。)を取り付けて泡放射を行った場合と取り付けずに泡放射を行った場合、さらに棒状放水と噴霧放水で泡放射を行った場合の発泡倍率及び射程等の測定・比較を行った。

2 検証項目

(1) 放射泡の発泡倍率

1 線延長したホースラインの途中でGN用ラインプロポーションナーを結合し、GNにより泡放射を実施、発泡器を取り付けた場合と取り付けなかった場合及び棒状放水と噴霧放水(放水展開角度 30°)における放射泡の発泡倍率を測定した。

(2) 放射泡の射程

前(1)と同様な実験により、射程について測定した。

3 実験場所

東京消防庁第二消防方面本部訓練場

4 主な使用資器材

検証に使用したGNはA社製、B社製及びC社製の3種類であり、GN用ラインプロポーションナー(写真1)及び各発泡器の仕様は表1及び表2のとおりである。

なお、構造上の理由から、各発泡器のGNへの取り付けは、同じ製造会社のGNに限られる。

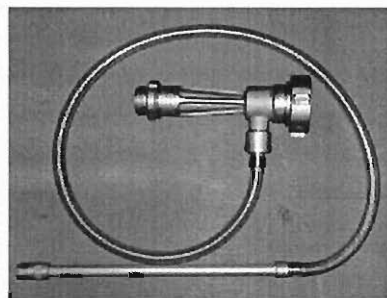


写真1 GN用ラインプロポーションナー

表1 GN用ラインプロポーションナーの仕様

規格流量	420L/min
入口圧力	1.30MPa
出口圧力	0.64MPa
混合率	3%
結合金具	φ65×40 ねじ式

表2 発泡器の仕様（メーカー資料参照）

製造会社	発泡倍率	指定放水形状
A社製	約8倍	不明
B社製	約12倍	棒状
C社製	約6.7倍以上	棒状

5 GN用ラインプロポーションナーについて

(1) ラインプロポーションナーの原理

ラインプロポーションナーは、ベンチュリー管の原理により泡消火薬剤を吸入する。すなわちホースラインに流れる水がジェットノズルを通過するとき、流速が速くなり混合室内に負圧が生じるため、泡消火薬剤が吸入され、水との混合が行われる（図1参照）。

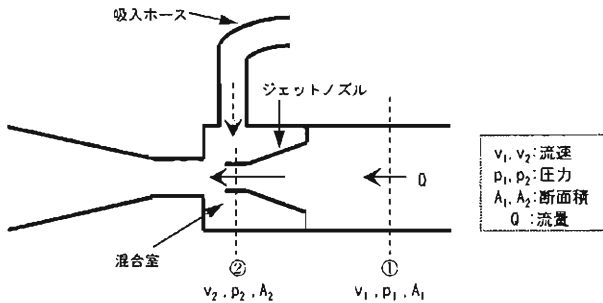


図1 ラインプロポーションナーの原理

図1においてベルヌーイの定理より①と②について

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$$

が成り立つ。ここで ρ は水密度、 g は重力加速度を表す。
 $v_1=Q/A_1, v_2=Q/A_2$ より

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{1}{2} \left(\frac{Q}{A_1} \right)^2 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{1}{2} \left(\frac{Q}{A_2} \right)^2$$

混合室内が負圧 ($p_2 < 0$) になるためには

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{1}{2} \left(\frac{Q}{A_1} \right)^2 < \frac{1}{2} \left(\frac{Q}{A_2} \right)^2$$

とならねばならない。これを変形し①と②についての断

面積の比 A_1/A_2 を求めると次のようになる。

$$\frac{A_1}{A_2} > \sqrt{1 + \frac{2p_1 A_1^2}{\rho Q^2}} (> 1) \dots (a)$$

したがって、断面積の比 A_1/A_2 が不等式(a)を満たせば混合室内は負圧となる。

GNを使用する場合、21型改ノズルを使用する場合よりもポンプ送水圧力が高くなるので、当然 p_1 も大きくなる。このことからGN用ラインプロポーションナーは不等式(a)を満足するために、現有のラインプロポーションナー（500型；規格流量500L/min、入口圧力0.8MPa）よりも断面積 A_2 が小さくしなければならない。

(2) GN用ラインプロポーションナー活用の条件

GN用ラインプロポーションナーを使用する場合に留意すべき点を以下に挙げる。

ア ラインプロポーションナーの規格流量を確保するため、GNの流量ダイヤル設定値を大量放水可能な475(470)に設定する。

イ GN用ラインプロポーションナーの特性として、出口圧力は入口圧力の約1/2となることを考慮したポンプ送水圧力を設定する。

ウ 消防用ホースは使用圧力（ $\phi 65\text{mm}$ 、 $\phi 50\text{mm}$ ：1.6MPa、 $\phi 40\text{mm}$ ：2.0MPa）が定められており、それを超えないようにポンプ送水圧力を設定する。


これらの点を踏まえ、GN用ラインプロポーションナーを用いたホース延長隊形として、それぞれのノズル圧力及び使用ホースによるホースの可能延長距離について検討した。

なお、 $\phi 40\text{mm}$ ホースは低圧力損失型とし、ホースの損失圧力計算は過去の検証で得た各種ホースの損失圧力データ¹⁾を使用した。

結果は表3のとおりであり、延長ホース全体の損失圧力は、ホースの呼び径及び本数によって決まることから、損失圧力の高い $\phi 40\text{mm}$ ホースを用いると、ホースの延長本数（距離）は少なくなる。これらの結果から、GN用ラインプロポーションナーの規格流量420L/minで泡放射を行うと、ノズル圧力は0.5MPa程度になるものの、十分なホースの延長距離を確保でき、実用上最も適していることが表3から予測できる。

表3 GN用ラインプロポーションを用いたホース延長隊形におけるホースの可能延長距離の検討結果

ノズル圧力	入口ホース 出口ホース	ホース延長隊形 (GN使用) におけるポンプ圧力計算結果 (ホースを平坦な地面に一直線となるよう延長した場合を想定)	ホース 可能延長距離
ノズル圧力 : 0.7MPa ダイヤル : 475L/分 放水流量 : 500L	φ40mm φ40mm	<p>※φ40mmホース1本あたりの損失圧力 : 0.2MPa</p> <p>2.0MPa (ポンプ圧力) 1.8MPa (入口圧力) 0.9MPa (出口圧力) 0.7MPa (ノズル圧力)</p> <p>ポンプ圧力=2.0MPa=φ40mmホース使用圧力</p>	40mまで 延長可能
	φ50mm φ50mm	<p>※φ50mmホース1本あたりの損失圧力 : 0.07MPa</p> <p>1.61MPa 1.54MPa 0.77MPa 0.7MPa</p> <p>ポンプ圧力=1.61MPa > φ50mmホース使用圧力 (1.6MPa)</p>	延長不能
ノズル圧力 : 0.6MPa ダイヤル : 475L/分 放水流量 : 460L	φ40mm φ40mm	<p>※φ40mmホース1本あたりの損失圧力 : 0.17MPa</p> <p>1.88MPa 1.54MPa 0.77MPa 0.6MPa</p> <p>ポンプ圧力=1.88MPa < φ40mmホース使用圧力 (2.0MPa)</p>	60mまで 延長可能
	φ65mm φ40mm	<p>※φ65mmホース1本あたりの損失圧力 : 0.03MPa</p> <p>1.6MPa 1.54MPa 0.77MPa 0.6MPa</p> <p>ポンプ圧力=1.6MPa=φ65mmホース使用圧力</p>	60mまで 延長可能
	φ50mm φ50mm	<p>※φ50mmホース1本あたりの損失圧力 : 0.06MPa</p> <p>1.56MPa 1.32MPa 0.66MPa 0.6MPa</p> <p>ポンプ圧力=1.56MPa < φ50mmホース使用圧力 (1.6MPa)</p>	100mまで 延長可能
ノズル圧力 : 0.5MPa ダイヤル : 475L/分 放水流量 : 420L	φ40mm φ40mm	<p>※φ40mmホース1本あたりの損失圧力 : 0.14MPa</p> <p>1.98MPa 1.28MPa 0.64MPa 0.5MPa</p> <p>ポンプ圧力=1.98MPa < φ40mmホース使用圧力 (2.0MPa)</p>	120mまで 延長可能
	φ65mm φ40mm	<p>※φ65mmホース1本あたりの損失圧力 : 0.024MPa</p> <p>1.592MPa 1.28MPa 0.64MPa 0.5MPa</p> <p>ポンプ圧力=1.592MPa < φ65mmホース使用圧力 (1.6MPa)</p>	280mまで 延長可能
	φ50mm φ50mm	<p>※φ50mmホース1本あたりの損失圧力 : 0.045MPa</p> <p>1.585MPa 1.09MPa 0.545MPa 0.5MPa</p> <p>ポンプ圧力=1.585MPa < φ50mmホース使用圧力 (1.6MPa)</p>	240mまで 延長可能

・ 図中  はGN用ラインプロポーションを表す。

・ ホース1本あたりの長さは20mである。

6 検証方法等

(1) 実験設定

使用資器材及び測定機器等の設定状況の模式図と写真を図2に示す。

なお、筒先は台座を用いて南向きに固定した。

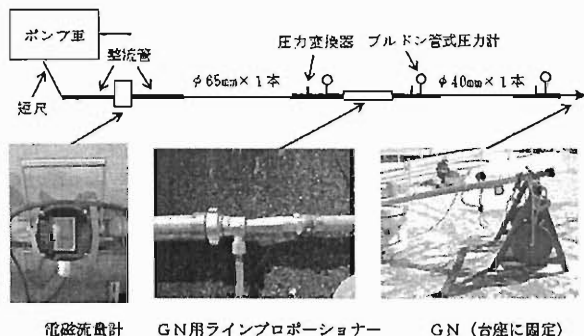


図2 使用資器材及び測定機器等の設定状況

(2) 実験方法

実験は以下のとおり、実際の消防活動における泡放射を想定し、放射泡を壁面に当たった場合とそうでない場合の2回行った。

ア 1回目

放水流量をGN用ラインプロポーショナーの規格流量420L/minに設定、GN用ラインプロポーショナーにより3%型合成界面活性剤泡消火薬剤（以下「消火剤」とする。）を吸入し、流量ダイヤル設定値475(470)で発泡訓練棟の壁面に対して泡放射を行った（写真2参照）。



写真2 実験風景

イ 2回目

前アと同じ放水流量及び流量ダイヤル設定値で泡放射を行い、放射泡を防油堤内へ落下させた（写真3参照）。

なお射程を測定するため、筒先の仰角を30°とした。

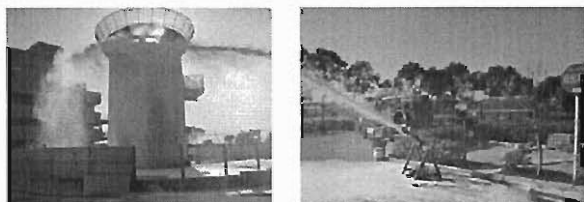


写真3 実験風景

(3) 実験条件

実験は1回目、2回目ともに表4に示す条件で行った。

表4 実験条件

GN種別	発泡器	放水形状
A社製 ダイヤル475 流量420L/min	無	棒状（ストレート）
		噴霧（30°）
B社製 ダイヤル475 流量420L/min	有	棒状（ストレート）
		噴霧（30°）
C社製 ダイヤル470 流量420L/min	無	棒状（ストレート）
		噴霧（30°）
C社製 ダイヤル470 流量420L/min	有	棒状（ストレート）
		噴霧（30°）

(4) 測定項目及び測定方法

測定項目及び測定方法を表5に示す。

表5 測定項目及び測定方法

測定項目	測定方法
ポンプ圧力	ポンプ車圧力計
入口・出口圧力 及びノズル圧力	圧力変換器及びひずみ測定器 サンプリング周期50ms、精度±0.5%
放水流量	電磁流量計及びひずみ測定器 サンプリング周期50ms、精度±0.5%
風向	吹流し
風速	風速計
放射泡質量	消火用バケツ（体積10L、質量395g）に採取した放射泡を満たし、質量を台ばかりで測定（写真4参照）
発泡倍率	放射泡質量より計算
消火剤吸入時間	GN用ラインプロポーショナーによる消火剤8Lの吸入に要する時間をストップウォッチにて計測（写真5参照）
消火剤吸入流量	消火剤吸入時間より計算
混合率	放水流量及び消火剤吸入流量より計算
射程（図3参照）	目視及び巻尺
気温及び水温	温度計



写真4 放射泡質量測定



写真5 消火剤吸入時間計測

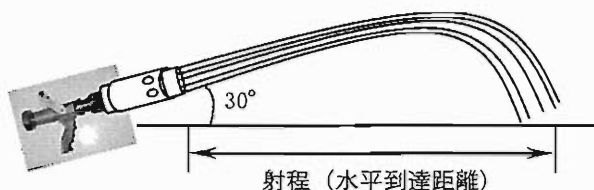


図3 本検証での射程の定義

(5) 測定機器等

ア 圧力変換器

共和電業社製 PG-50KU

イ 電磁流量計

愛知時計電機社製 TAV065V-30UEFI Z010

(精度±0.5%)

ウ ひずみ測定器

共和電業社製 DPM-613A

エ 風速計

Testoterm社製 FC-452

オ データロガー

KEYENCE社製 GR-3000

7 実験結果

測定結果を表6に示す。

なお表6に示した各圧力及び放水流量は泡放射時30秒間における測定データ(計600点)の平均値とし、風向・風速は泡放射開始時の測定値とした。

表6から読み取れる結果を以下に挙げる。

- (1) 実験1回目の測定で放水流量帯域418.4L/min～445.6L/minに対してポンプ圧力帯域は1.55MPa～1.70MPaであった。
- (2) GN用ラインプロポーションナーの出口圧力は入口圧力の4割～6割程度であった。
- (3) 実験1回目、2回目ともに各GNのノズル圧力帯域は、A社製が0.50MPa～0.55MPa、B社製が0.43MPa～0.46MPa、C社製が0.53MPa～0.71MPaであった。A社製及びB社製のGNは発泡器の有無によらずノズル圧力が概ね安定していたのに対し、C社製GNは、ノズル圧力が発泡器の有無に大きく依存し、発泡器を取り付けない場合、概ね0.5MPa、発泡器を取り付けた場合、概ね0.7MPaとなった。
- (4) 1回目の実験について消火剤吸入時間、消火剤吸入流量及び混合率はそれぞれ概ね32秒、15L/min、3%と安定していた。
- (5) 発泡倍率は実験1回目(発泡訓練壁面へ放射)の方が実験2回目(防油堤内へ落下)より高かった。
- (6) 壁面に対して泡放射を行った場合(実験1回目)、発泡器を取り付けなかったときと比較して、発泡器を取

り付けたことによる顕著な発泡効果は確認されなかった。

- (7) 発泡器を取り付けない場合、実験1回目、2回目ともに棒状放水よりも噴霧放水の方が発泡倍率が高かった。
- (8) 発泡器を取り付けた場合、A社製については棒状放水よりも噴霧放水の方が発泡倍率が高かった。一方、B社製及びC社製については棒状放水の方が噴霧放水よりも発泡倍率が高い傾向を示した。
- (9) A社製での棒状放水(実験2回目のみ)、B社製での噴霧放水、C社製での棒状及び噴霧放水については発泡器を取り付けない方がむしろ発泡倍率が高い結果となった。特にC社製GNにあつては、発泡器を取り付けない噴霧放水が1回目(25.5倍)、2回目(23.1倍)ともに低発泡(6～20倍)の発泡倍率を超え、発泡器を取り付けた場合(1回目:11.4倍、2回目:8.4倍)を大きく上回った。
- (10) 射程はB社製の噴霧放水時を除き、いずれも20mを超え、最大で27.4m(A社製、発泡器付き棒状放水)に達した。また、C社製の発泡器を取り付けた場合を除いて、棒状放水の方が噴霧放水よりも射程は大きかった。

8 おわりに

(1) 発泡倍率について

ア 泡放射方法の違いによる発泡倍率への影響

前7(5)より、放射泡を壁面へ当てたことが発泡効果を促し、10倍以上の発泡倍率をもたらしたといえる。またこの場合、発泡倍率は発泡器の有無によらないことが前7(6)から推察される。

他方、発泡器を取り付けずに放射泡を地面へ落下させた場合でも概ね低発泡(6～20倍)の放射泡が得られることがわかった。

イ 発泡器の有無及び放水形状と発泡倍率との関係

発泡器を取り付けない場合、噴霧放水の方が棒状放水よりも発泡倍率が高かったが、これは噴霧放水の方が空気と混合し易く、さらにノズル先端の回転クシ歯の回転が発泡を一層促進したためであると考えられる。

発泡器を取り付けた場合、B社製GN及びC社製GNについては棒状放水の方が発泡倍率が高かったが、これは両メーカーの発泡器が棒状放水で空気流入口への空気の流入がもっとも効率よく行われる構造であるためと考えられる(表2にあるように、B社製GN及びC社製GNの指定放水形状は棒状放水である)。

なお、C社製GNによる噴霧放水での発泡倍率は、1回目、2回目ともに発泡器を取り付けない場合の発泡倍率が、発泡器を取り付けた場合の発泡倍率を大きく上回

る結果となったが、これは発泡器を取り付けたことで逆に空気との効率的な混合が妨げられたためであると考えられる。このことは、B社製GNの噴霧放水についても同様である。

(2) 射程について

射程は各GNとも概ね20mを超えており、21型改ノズルに取り付けて使用する筒型簡易発泡器（商品名：フォームショットガン）での射程（約21m；機器技術資料参照）と比較しても遜色ないといえる。

(3) ノズル圧力について

C社製GNに発泡器を取り付けて泡放射を行うと、発

泡器を取り付けない場合よりノズル圧力は大きくなったが、これは、消火剤混合水がC社製の発泡器内を通過する際、発泡器内に取り付けられたメッシュ状のワイヤーネットにより、大きな摩擦抵抗を受けたためであると考えられる。

[参考文献]

- 1) 中川 英二、高井 啓安、星 哲也、菅原 洋一：消防用ホース等の性能検証について、消防技術安全所報44号、24-31、平成19年9月

表6 測定結果

	メーカー	発泡器	放水形状	ポンプ圧力 (MPa)	入口圧力 (MPa)	出口圧力 (MPa)	ノズル圧力 (MPa)	放水流量 (L/min)	風向・風速 (m/s)	放射泡質量 (g)	発泡倍率 (倍)	吸入時間 (s)	吸入流量 (L/min)	混合率 (%)	射程 (m)	
1回目 (11:00) 気温：15.0℃ 水温：13.0℃ (12:00) 気温：17.0℃ 水温：13.9℃	A社製	無	棒状	1.60	1.379	0.684	0.530	429.6	0.0	739	13.5	32.16	14.9	3.36		
			噴霧	1.55	1.308	0.651	0.503	418.4	S-0.5	571	17.5	32.34	14.8	3.43		
		有	棒状	1.60	1.365	0.678	0.523	426.1	0.0	719	13.9	32.40	14.8	3.36		
			噴霧	1.60	1.369	0.679	0.523	430.0	SW-0.6	500	20.0	32.22	14.9	3.35		
		B社製	無	棒状	1.60	1.376	0.603	0.453	428.9	W-1.4	652	15.3	32.38	14.8	3.34	
				噴霧	1.65	1.419	0.605	0.452	435.7	S-0.5	562	17.8	32.03	15.0	3.33	
	有		棒状	1.70	1.380	0.588	0.439	430.3	0.0	555	18.0	32.49	14.8	3.32		
			噴霧	1.60	1.454	0.618	0.462	440.0	SE-0.8	659	15.2	32.09	15.0	3.29		
	C社製	無	棒状	1.60	1.373	0.679	0.527	429.5	SE-3.1	773	12.9	32.20	14.9	3.35		
			噴霧	1.65	1.399	0.690	0.535	435.3	SE-3.0	392	25.5	31.99	15.0	3.33		
		有	棒状	1.70	1.471	0.869	0.701	445.6	SE-0.5	780	12.8	32.05	15.0	3.25		
			噴霧	1.70	1.451	0.859	0.693	441.8	W-1.7	879	11.4	32.02	15.0	3.28		
2回目 (14:00) 気温：12.1℃ 水温：18.3℃ (15:00) 気温：9.4℃ 水温：14.3℃	A社製	無	棒状		1.465	0.771	0.553	445.9	S-2.3	841	11.9				26.4	
			噴霧		1.416	0.755	0.535	435.4	S-1.1	707	14.1				24.0	
		有	棒状		1.416	0.775	0.540	437.6	SE-1.0	1087	9.2				27.4	
			噴霧		1.441	0.793	0.545	441.5	SE-2.1	505	19.8				23.5	
	B社製	無	棒状		1.357	0.612	0.435	431.1	S-1.6	1230	8.1				26.9	
			噴霧		1.414	0.644	0.443	437.2	S-1.9	921	10.9				17.3	
		有	棒状		1.373	0.612	0.429	432.8	S-1.7	887	11.3				21.7	
			噴霧		1.380	0.622	0.432	439.0	S-2.0	1346	7.4				16.0	
	C社製	無	棒状		1.390	0.715	0.530	434.9	S-2.2	1295	7.7				26.3	
			噴霧		1.382	0.711	0.527	433.5	S-1.8	433	23.1				21.0	
		有	棒状		1.488	0.885	0.705	446.2	S-1.6	1349	7.4				20.2	
			噴霧		1.411	0.870	0.673	438.1	S-1.2	1190	8.4				21.1	

Verification of the Foam Discharge by a Gun-Type Nozzle

Kenji SATO*, Hidekazu NOMOTO*, Shigeo WATANABE*, Hiroyasu TAKAI**

Abstract

Gun-type nozzles have been deployed to each firefighting unit. If foam were discharged by gun-type nozzles using the line proportioner as with the 2l-type improved nozzle, it would allow us to perform firefighting much easier.

Therefore, we measured the expansion rate, range, etc. of the foam discharge by a gun-type nozzle with the line proportioner for gun-type nozzles.

As a result, it was confirmed that foam discharge at a low expansion rate was achieved even without the simplified foam maker for low expansion attached to a nozzle, and that the range was equivalent to that with the 2l-type improved nozzle.