

噴霧ノズルからのミスト噴霧状況に関する解析

谷萩 雄一朗* 石原 慶大** 姉崎 教史** 渡邊 良夫** 吉川 昭光**

1. はじめに

従来の消火設備にはない新規の設備として、水の微細な噴霧粒子（ミスト）を低圧で容易に生成する消火設備を考案する。ミストはスプリンクラーなどの従来の水系設備と比較して粒子径が小さい。粒子径が小さくなればなるほど比表面積が増大するため、蒸発熱による冷却効果や水蒸気による熱遮断効果などの優れた消火効果が得られる。そのため水では不可能であった油火災を消火できることが実証されている。ミストは自重が軽く、火災空間に素早く充満し長時間浮遊する。ケーブルラックなど、水滴が下に落ちてしまうために影となる空間にも周囲から回り込み消火することが可能である。

本設備は低圧で使用するため消火水量を低減でき、貯蔵タンクなどの設備の省スペース化が図れる。従って設置空間の限られる船舶のエンジン室などでの使用を予定している。

ミストを生成する噴霧ノズルには、オリフィスから噴射する水の前面に流れを妨げる目的でディフレクタを設け、そのディフレクタにより噴射水流が拡散される機構となっている。

本研究は平成 19 年度にも共同研究を行い、シミュレーション結果と実験結果との整合性を検討した。その結果、流量については定量的な差があったものの噴霧角についてはほぼ同じ結果が得られ、定性的には一致していることが確認できた。

2. 役割分担

本研究の役割分担を以下に示す。

- (1) ヤマトプロテック（株）中央研究所
 - ・噴霧ノズルの試作ならびに検証実験
- (2) 工業技術センター
 - ・噴霧状況の流体シミュレーション

3. 目的

シミュレーションを用いて以下 2 点を行う。

- (1) 噴霧ノズルの特性（流量、噴霧角）について、実験結果の理論的な裏付けをとる。
- (2) ノズルの製造精度のばらつきを検討する。

4. シミュレーション方法の検討

噴射された水がディフレクタに衝突して拡散され、ミストを生成する過程は図 1 のように知られている[1]。ディフレクタに衝突することで噴流の向きが変わってシート状に広がり、距離とともに波打ち始めひだ状になる。ひだからまずリング状にちぎれ、そのリングから更にちぎれることで最終的に球状の水滴を形成する。

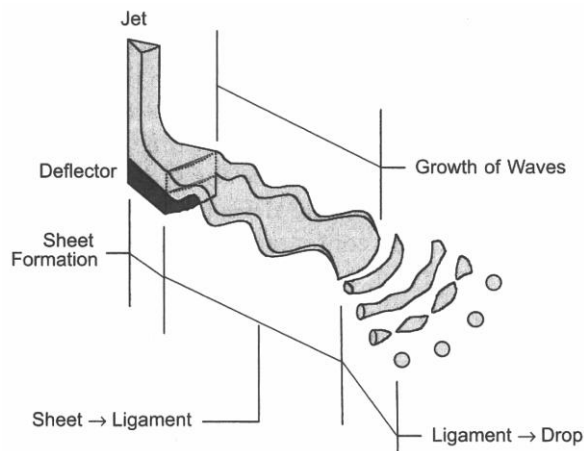


図 1 ミストの生成過程

本研究では流体シミュレーションを行うため、汎用の有限要素法ソフトウェアであるサイバネットシステム（株）、ANSYS FLOTTRAN (ver. 11.0) を使用した。シミュレーションを行うにあたり、そのアルゴリズム及び解析条件を検討した。

(1) VOF 法

本ソフトウェアは表面張力を含めた二相流での界面追跡の手法として VOF 法を用いている。VOF 法では対象流体の有無で界面を判定するために流体周辺の空気（搬送流など）の影響が解析できない。しかしながら、今回の噴霧過程については流体の界面形成による力が支配的であり周辺空気の影響は大きくないと推測されるため、無視しても差し支えない。

(2) 二次元解析

図 1 より、噴流がディフレクタに衝突して拡散されリング状にちぎれるまでは軸対称の事象である。今回着目した物理量はオリフィスを通る流量とディフレクタで拡散された直後の噴霧角であるが、それらは軸対称条件の範囲内である。よって軸対称条件を設定した上で二次元解析を行った。

以上のことから今回用いたアルゴリズム及び解析条件は適していると考えられる。

5. シミュレーション内容

初期条件としてオリフィスより上には流体が満たされて静止しているものとする。それから圧力を付加し、噴霧が始まるまでの非定常解析を行った。

目的(1)については、噴霧ノズルの形状は一定とし圧力を変化させた。使用が想定される圧力範囲のうち、上限と下限、下限付近の計 3 通りについて解析を行った。目的(2)については圧力を一定とし、噴霧ノズルの形状を変更した。

*技術融合部門 **ヤマトプロテック（株）中央研究所

6. 結果および考察

6.1 流量の検討 オリフィスから噴射される流量は理論上ベルヌーイの式から求めることができ、式1のようにほぼ圧力の 1/2 乗に比例する。

$$v \approx C_1 C_2 \sqrt{\frac{2}{\rho} P} \propto \sqrt{P} \quad \dots \text{式1}$$

- v : オリフィスにおける平均流速
- ρ : 流体密度
- P : 付加圧力
- C_1 : 流量係数
- C_2 : ノズル断面積に基づく係数

シミュレーション結果とそれらの近似曲線(累乗近似)を図2に示す。

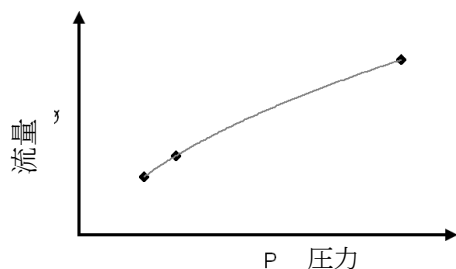


図2 圧力と流量の関係

近似曲線の数式
累乗指数 : 0.50 , R2 乗値 : 1.0

近似曲線は3結果を外れることなく求められている。これより流量は圧力の 1/2 乗に比例することが確認され、式1のように理論通りであった。

シミュレーション結果の流量は全体として実験結果よりやや少ないが、その誤差は数%の範囲内であった。従って定量的にも近い結果が得られた。

6.2 噴霧角の検討 シミュレーション結果の噴霧角は圧力によらずほぼ等しい角度であった。これは検証実験でも確認されている。従って噴霧角は圧力に依存しないことが裏付けられた。シミュレーション結果と解析結果の噴霧図を図3に、求めた噴霧の角度を表1に示す。

表1 噴霧角の比較

シミュレーション結果	105 [deg]
実験結果	109 [deg]

噴霧角は実験結果のほうがやや大きく広がっている。これは噴霧ノズルの横から噴霧の影を撮影しているため、周辺に形成される霧状の微小水滴をも含んだ角度となっているためである。従って噴霧角についてもシミュレーション結果と解析結果は良く一致した。



図3 噴霧図
(上 : シミュレーション結果, 下 : 実験結果)

6.3 製造精度の検討

噴霧ノズルの機構上、流量と噴霧角に大きく寄与するのは、オリフィス径、ディフレクタ径、オリフィス径とディフレクタ径の距離(空間距離)の3パラメーターと考えられる。それらの製造精度のばらつきをシミュレーションモデル寸法に含めて解析を行った。その結果を表2に示す。

表2 製造精度の検討

オリフィス径	流量に大きく影響する
ディフレクタ径	噴霧角に大きく影響する
空間距離	ほぼ影響ない

表2より製造精度は流量や噴霧角に大きく影響する可能性がある。特性のばらつきなく噴霧ノズルを製作するためには、それらの製造精度を厳しくする必要がある。

7. まとめ

シミュレーションを行って表3の結果が得られた。

表3 まとめ

流量	理論通りにほぼ圧力の1/2乗に比例する。
噴霧角	ノズル形状に依存し、圧力に依存しない。
製造精度	流量、噴霧角に影響する可能性がある。

8. おわりに

流体シミュレーションを行った結果、実験結果と良く一致し、製造精度のばらつきを評価することが可能となった。本研究の成果として得られた噴霧ノズルおよび消火設備一式は、ヤマトプロテック(株)の新製品として平成21年度に製品化する。

9. 参考文献

[1] Di Wu et al., A modeling basis for predicting the initial sprinkler spray, Fire Safety Journal, 42, 2007