高速放出時のトレーサガス濃度変動を対象とした風洞実験

- (財)電力中央研究所 正会員 佐藤 歩
- (財)電力中央研究所 佐田幸一
- (財)電力中央研究所 道岡武信

1. はじめに

発電所に係る環境影響評価では,発電所煙突から排出される大気汚染物質の年平均値,日平均値を予測す ることが定められている。一方,発電施設や化学プラント等における災害時のガス漏洩を対象とした安全対 策においては,時間的に平均されたガス濃度に加えて漏洩後短時間に生じる瞬時の高濃度を評価することが 重要である。特に,ガスが高圧条件下で保存されているプラントにおいて偶発的に生じた配管破断等により ガスが大量に漏洩するような事故が発生した場合には,漏洩ガスは非常に高速度で大量放出されることが想 定され,漏洩ガスの吐出速度が濃度変動およびピーク濃度の挙動に与える影響を知ることが重要となる。本 研究では,地表面付近より地表面と平行に放出されたトレーサガスの濃度変動を測定する風洞実験を行い, 放出速度が濃度変動に与える影響を検討した。

2. 実験方法と実験装置

実験は測定部長さ 20m,幅 3m,高さ 1.5m の拡散実験用風 洞内に中立時の大気境界層を模擬して行った(境界層高さ H=0.5m)。放出源近傍における煙の拡散を風洞実験と実現象 の間で相似させるため,ガスの放出速度と放出口径を基準と したレイノルズ数および風速に対するガス放出速度の比の一 致を考慮して,トレーサガスの放出速度を表-1に示す 3 ケー スと設定した。トレーサガス(エチレンと空気の混合気体) は,測定部入口から 7.95m 下流位置において風洞床面からの 高さ z_s=1.0×10⁻²m より内径 D=5.0×10⁻³m の円管を通じて風 洞床面と平行に放出した。濃度の測定には,100Hz 前後の周 波数応答性を有する全炭化水素分析計を使用し,データのサ ンプリングは測定ごとに 2ms 間隔で 40 秒間行った。図-1 に 風洞実験の概要を示す。

3. 実験結果と考察

図-2に鉛直方向および水平方向のプルーム半値幅をそれぞ れ示す。鉛直方向の半値幅(z)は放出速度比が最大のケー ス3の値が最も大きく,ケース2は放出源近傍ではケース3 と同程度であるが,放出源からの風下距離が増加するにした がいケース1の分布に近付く。放出速度による鉛直方向半値 幅の差は風下方向にしたがい小さくなる。一方,水平方向の 半値幅(y)は,放出直後では放出速度による差が小さいが, 表-1 トレーサガス放出条件

放出源直径	5.0×10 ⁻³ (m)		
放出高さ	1.0×10 ⁻² (m)		
放出速度	ケース1	ケース2	ケース 3
	0.459(m/s)	4.59(m/s)	45.9(m/s)
放出速度比 ^{*)}	1	10	100
レイノルズ数 ^{**)}	1.52E+02	1.52E+03	1.52E+04

*)放出高さにおける風速(0.459m/s)に対する放出速度の比 **)放出口径および放出速度を基準としたレイノルズ数



図-1 風洞実験の概要

放出源からの距離が大きくなるにしたがいケース3と他の2ケースとの差が増大する。周囲気流に対してト レーサガスの放出速度が非常に大きいケース3では,プルームと周囲気流との速度差に起因するプルーム内

大気拡散,濃度変動,風洞実験,高速放出,確率密度関数 〒201-8511 東京都狛江市岩戸北 2-11-1,電話:03-3488-0911, FAX:03-3488-1942

への気流の取り込み量が他の2ケースに比 べ多く、そのため水平方向へのプルームの 成長が顕著になるものと考えられる。鉛直 方向と水平方向の半値幅を比較すると,高 速放出時には水平方向の値が鉛直方向に比 べて大きく,地表付近より高速で放出され たトレーサガスは,地表面の存在により鉛 直方向の運動が抑制されるため,鉛直方向 にはそれほど大きく拡散されず,地表面に 沿った状態で水平方向に大きく拡散される ことが分かる。平均濃度に対する濃度変動 の標準偏差の比を濃度変動強度と定義して、 図-3に放出源高さにおける濃度変動強度の 風下方向変化を示す。高速放出時の煙源近 傍では、プルーム内では比較的小スケール の乱れによる混合が盛んであり、プルーム の蛇行運動によって生成されるような大き な濃度変動は生じないため,等速放出時に 比べ濃度変動強度は小さな値を示す。風下

方向距離の増加にともない高速放出時の濃度変動は平均濃度に比 べ緩やかに減少するため,ケース1と反対に濃度変動強度は増加 する。ただし,ケース2では,風下距離の増加にともない放出速 度の影響が小さくなり,x/H=2 以降ではケース1とほぼ等しい値 となる。図-4 に風下位置 x/H=1.0 のプルーム中心軸上で得られた 濃度の確率密度関数 P(c)を示す。ケース1の濃度の確率密度関数 は平均濃度に対して正の側に歪んだ対数正規分布型の分布を示す のに対し,ケース2,ケース3においては,平均濃度を中心に左 右対称の分布を示し,正規分布と良く一致した分布を示すことが 分かる。各ケースにおいて測定データより累積値が上位 1%とな る濃度値(以下,c99)と風洞実験値の確率密度が正規分布に従う







と仮定して,風洞実験結果の平均値および標準偏差から求めた c₉₉を比較して図-5 に示す。ケース1においては,正規分布から求めた c₉₉ は実験値より過小評価となり,正規分布は等速放出時の高濃度値の予測には適していないことが分かる。一方,高速放出時には正規分布による c₉₉ は風洞実験結果と良く一致し,正規分布によりピーク濃度を精度良く予測できることが分かる。

4. まとめ

トレーサガスの放出速度がプルームの濃度変動に与える影響を明らかにするため,高速でトレーサガスを 放出する風洞実験を行った。地表付近より高速で放出されたガスは地表に沿った状態で流れ方向に移流し, 周囲の気流を取り込みながら水平方向へ大きく拡散される。鉛直方向の拡散は地表面によりプルームの運動 が抑制されるため,水平方向に比べて放出速度による差が小さい。高速放出時の放出直後においては,プル ームと気流の速度差によりプルームの蛇行運動は等速放出時に比較して小さく,またプルーム内では小スケ ールの混合が支配的であるため,濃度変動は相対的に小さな値を示す。高速放出時の濃度の確率密度関数は 正規分布に近い分布を示し,正規分布によりピーク濃度を精度良く予測することができる。