[フォーラム]

F3-4 部分開放空間における水素の拡散挙動

Analysis of Hydrogen Diffusion in a Partially Open Space

○正 月川久義 (西部ガス)

正 松浦一雄 (九州大学)

井上雅弘 (九州大学)

正 金山寛 (九州大学)

TSUKIKAWA Hisayoshi, SAIBU GAS Co. 421-4, Imajuku Aoki, Nishi-ku, Fukuoka 819-0162
 MATSUURA Kazuo, KYUSHU Univ.
 INOUE Masahiro, KYUSHU Univ.
 KANAYAMA Hirioishi, KYUSHU Univ.

Key Words: *Hydrogen, CFD Modeling, Buoyancy, LEVEL*

1. はじめに

水素を取り扱う室に換気設備や漏洩検知警報設備を設置する場合、水素が漏洩した際の対流、拡散挙動を把握することは大変重要なことである。このとき平均濃度のみならず濃度変動の検討も必要であり⁽¹⁾、著者らはCFD解析の実用化の研究を行っている。

2. CFD解析手法

解析対象としている Hallway Model^{(2)~(4)} と呼ばれる部分開放空間を図1に、その詳細寸法を表1に示す。このモデルは天井に Roof Vent、壁面に Door Vent の2個の大気開口部を有し、床面の Hydrogen Inlet から水素が 57L/min ($9.5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$) の流量で600秒間漏洩する。

Fig.1 The sketch of the hallway model

CFD解析には商用の汎用コード PHOENICS Ver.2006 を用いた。解法は SIMPLEST 法、格子は構造格子、空間差分近似は1次風上差分と中心差分とを組み合わせたハイブリッド法、時間発展は後退オイラー法を使用した。密度を変数とした質量保存式、浮力を考慮した運動量保存式、全エンタルピー保存式、水素と酸素の化学種保存式を解いた。窒素は $\text{H}_2 + \text{O}_2 + \text{N}_2 = 1.0$ から計算した。物性値 (密度、エンタルピー、粘性係数、拡散係数) は CHEMKIN II⁽⁵⁾ で計算を行った。

格子分割を図2に示す。Hallwayの内外の密度差により Roof Vent と Door Vent との間に圧力差 (水頭圧) が生じ、自然換気の駆動力となる。この圧力差を考慮するために、また vent 部の圧力損失を考慮するため外部境界を設定し、Roof Vent, Door Vent からそれぞれ 1.2m, 0.6m の外部までを計算領域とした。Hallway 内部の分割は $77 \times 20 \times 45 = 69,300$ セルである。次節で述べる実験装置の Hydrogen Inlet はキャビティ

形状をしており、床面 ($z=0.0\text{m}$) において浮力の影響を受けることから、解析では Hydrogen Inlet を $z=-0.025\text{m}$ の位置とし床面との間を2セルに分割した。乱流モデルには、Spalding 壁法則から有効粘性係数を求める0方程式モデルの LEVEL を用いた。また非定常解析の時間刻みは0.5秒とした。

Fig.2 Cells in hallway

Fig.3 The picture of an experimental model

3. 水素漏洩実験

共著者の井上が実施した実験装置の写真を図3に示す。外装はアクリル板である。水素濃度の計測は気体熱伝導式水素センサを使用している。応答速度はほぼリニアで水素濃度1.6%に対する応答時間は約10秒である。実験では水素濃度は定常値とはならず、かなり変動している。先行文献の Swain ら⁽²⁾ の実験と Fluent による解析、Agrant ら⁽³⁾ の PHOENICS による解析、松浦ら⁽⁴⁾ の CFD-ACE+による解析

では水素濃度は定常値に達している。

4.CFD 解析と実験との比較

本解析と実験との4個のセンサ位置での水素濃度を図4に示す。CFD 解析と実験とは良く合っている。CFD 解析においては一般的に乱流モデルが用いられている。そこで本解析と同一解析条件で標準k-εモデル、低レイノルズ数型k-εモデル及び層流を用いて解析を行った。その結果をセンサ2の水素濃度について図5に示す。k-ε系の2方程式モデルは、境界層内に十分な格子点数が必要となること、計算時間を要すること、成層化する浮力場では解析精度が低下すること等、この解析では実用性が認められなかった。

漏洩した水素の滞留を防止するため、天井を換気口に向けて傾斜構造とすることが有効であると思われる。この効果を見るために、Hallway全体を5°傾斜させた結果を図6に示す。換気性能の評価は出来ていないが、流動挙動は大きく変わっている。

Fig.4 Hydrogen concentration at 4 sensors

Fig.5 Effect of turbulence model differences at sensor 2

Fig.6 Inclined case (5 degrees)

5.おわりに

商用 CFD コードを用いて水素が部分開放空間に漏洩する場合の拡散挙動解析を行った。漏洩した水素の浮力により発生する自然対流に対してはLVELモデル及び層流モデルの実用性が高いことが分かった。また外部境界やinlet位置等、考慮すべき境界条件が明確になった。今後さらに信頼性の向上と実用化を目指して格子分割、時間刻み、使用するCFDコードの差異等の検討を行う。

謝辞：実験は福岡水素エネルギー戦略会議の支援で行われたことに謝意を記す。

文献

- (1) KOUICH, A., OKABAYASHI, K., TAKENO, K., CHITOSE, K., "Wind Tunnel Study Concentration Fluctuation of Hydrogen Dispersion and Probability of Ignition" Proceedings of the Hydrogen Energy Systems Society pp.21-24, 2005.
- (2) SWAIN, M. R., GILLIOT, E. S., SWAIN, M. N., "Risks Incurred by Hydrogen Escaping from Containers and Conduits," Proceedings of the 1998 U. S. DOE Hydrogen Program Review, 1998.
- (3) AGRANT, V., CHENG, Z., TCHOUVELEV, A., "CFD Modeling of Hydrogen Releases and Dispersions in Hydrogen Energy Station," Proceedings of the 15th World Hydrogen Energy Conference, 2004.
- (4) MATSUURA, K., KANAYAMA, H., TSUKIKAWA, H., INOUE, M., "Researches on hydrogen dispersion behavior in a partially open space." Journal of Hydrogen Energy Systems Society of Japan, 31 (2), pp. 50-57, 2006. (in Japanese)
- (5) KEE, R., RUPLEY, F. M., MILLER, J. A., "The Chemkin Thermodynamic Data Base," Sandia National Laboratories Report SAND87-8215 B, March 1991

Table 1 The details of the Hallway Model

	X(m)	Y(m)	Z(m)
Domain size	2.90	0.74	1.22
Sensor 1 location	0.15	0.14	0.15
Sensor 2 location	0.15	0.52	1.01
Sensor 3 location	2.68	0.14	1.01
Sensor 4 location	2.68	0.52	0.15
Roof vent location	2.60	0.22	1.22
Roof vent size	0.15	0.30	0.00
Door vent location	2.90	0.22	0.15
Door vent size	0.00	0.30	0.15
Hydrogen inlet location	0.15	0.22	0.00
Hydrogen inlet size	0.15	0.30	0.00
Hydrogen leak rate:57L/min ; leak duration:600seconds			

参考 PHOENICS では全ての保存式は下記の式(1)を用いて解いている

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\Phi) + \text{div}(\rho\mathbf{v}\Phi) = \text{div}(\Gamma_{\Phi} \text{grad} \Phi) + S_{\Phi} \quad (1)$$

ここで、 Φ は保存量、 Γ_{Φ} は交換(拡散)係数、 S_{Φ} は生成項