

## 平成22年度福岡水素戦略会議

水素燃焼・安全評価に関する検討分科会  
シミュレーション研究分科会

### 「水素拡散シミュレーション」 解析精度の現状

九州大学 水素エネルギー国際研究センター  
月川久義

月日:平成22年8月10日

場所:水素エネルギー製品試験研究センター

1

## 内容

- 研究の目的
- 解析精度の現状  
International Journal of Hydrogen Energy  
HySafe NE
- 当分科会の解析精度
- まとめ

2

## 研究の目的

FCV (Fuel cell vehicle) の駐車場において,  
水素センサー・換気設備を最適配置したい.

↑  
安全・安心 低コスト

↓  
漏洩水素の挙動についての知見が不可欠.  
CFDが有効な手段  
CFD解析手法の標準化

3

## 内容

- 研究の目的
- 解析精度の現状  
International Journal of Hydrogen Energy  
HySafe NE
- 当分科会の解析精度
- まとめ

4

## 解析精度の現状

GALLEGO E., MIGOYA E., MARTIM -VALDEPENAS J.M.et al. "An inter-comparison exercise on the capabilities of CFD models to predict distributions and mixing of H2 in a closed vessel" *International Journal of Hydrogen Energy* 32 pp.2235-2245, 2007  
G.VENETSANOS A., ANANIKOLOAOU E., LIVHATIOS M. et al. "An inter-comparison of the capabilities of CFD models to predict the short and long term distribution and mixing of hydrogen in a garage" *International Journal of Hydrogen Energy* 34 pp.5912-5923, 2009  
PAPANIKOLOAOU E.A., G.VENETSANOS A., HEITSCH M. et al. "HySafe SBEP-V-20: Numerical studies of release experiments inside a naturally ventilated garage" *International Journal of Hydrogen Energy* 35pp.4747-4757, 2010  
MATSUURA K., NAKANO M., ISHIMOTO J. "The sensing -based adaptive risk mitigation of leaking hydrogen in a partially open space" *International Journal of Hydrogen Energy* 34 pp.8770-8782,2009

5

## HySafe Network of Excellence 2003-2009

- Safety of Hydrogen as an Energy Carrier
- SBEPs-standing for "Standard Benchmark Exercise Problems"
- 12ヶ国, 25パートナー  
ドイツ(5), フランス(3), ノールウェイ(3), 英国(3), ネーデルランド(2), スペイン(2), デンマーク, ギリシャ, イタリア, ポーランド, スウェーデン, ロシア,

6

モデル 解析では下部で実験より低濃度



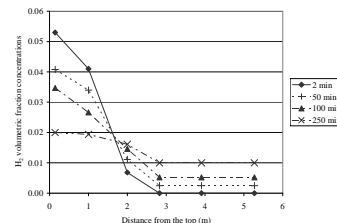
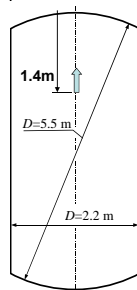
- Release speed: 1.3m/s
- Release flow rate: 1g/s He
- release diameter: 75mm
- Release duration: 1800s

直径 2.2m  
高さ 5.5m

[http://www.hysafe.org/download/500/EHEC\\_2005\\_V4.pdf](http://www.hysafe.org/download/500/EHEC_2005_V4.pdf)

7

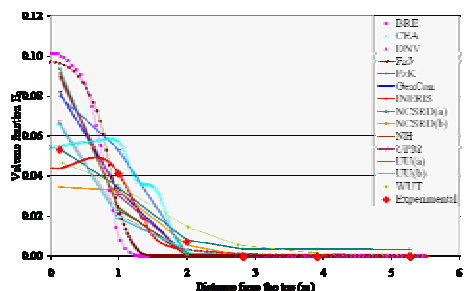
モデル 直径10mmのチューブから  
4.5L/s ( 57.3m/s ) で60秒間放出



First Status report on code validation and applicability based on the results of Standard Benchmark Exercise Problems (SBEs) V1 and V2 Deliverable No. 23 より転記

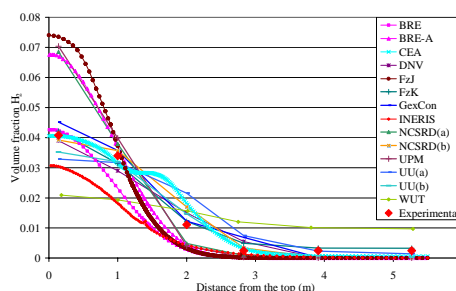
8

モデル 水素放出終了2分後



First Status report on code validation and applicability based on the results of Standard Benchmark Exercise Problems (SBEs) V1 and V2

モデル 水素放出終了50分後  
乱流モデル k-εは実験との差が大



<http://www.hysafe.org/documents?deliverable=23>

10

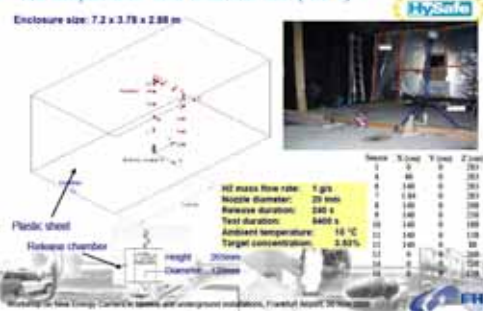
モデル 温度一定条件:岩の中に設置  
SBEP-V3



[http://www.hysafe.org/download/500/EHEC\\_2005\\_V4.pdf](http://www.hysafe.org/download/500/EHEC_2005_V4.pdf)

11

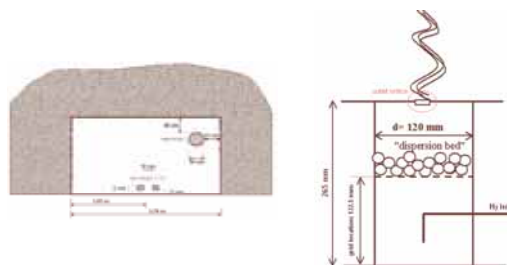
H2 dispersion test INERIS-6C (ref 1)



[http://www.hysafe.org/download/1659/INSHYDE\\_WorkshopLSurf2008.pdf](http://www.hysafe.org/download/1659/INSHYDE_WorkshopLSurf2008.pdf)

12

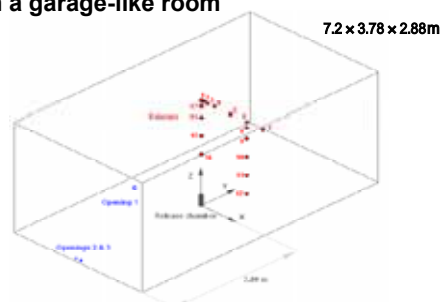
モデル 開口部, 水素流入部



[http://www.hysafe.org/download/769/SBEPV3\\_Spec.pdf](http://www.hysafe.org/download/769/SBEPV3_Spec.pdf)

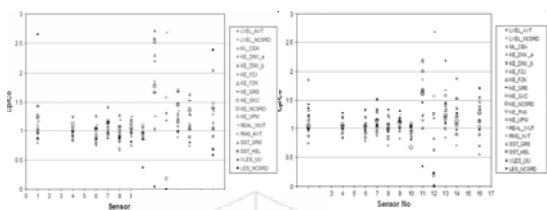
13

SBEP-V3: INERIS Test 6c  
Dispersion of a slow vertical hydrogen jet  
in a garage-like room



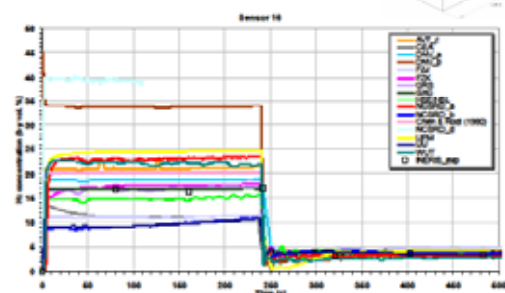
Description of INERIS-test-6 experiment and requirements for corresponding blind SBEP in the framework of the InsHyde internal Project Prepared より転記<sup>14</sup>

現状の解析精度は実験の1/2~2  
モデル 左: 実験値提示前 右: 実験値既知

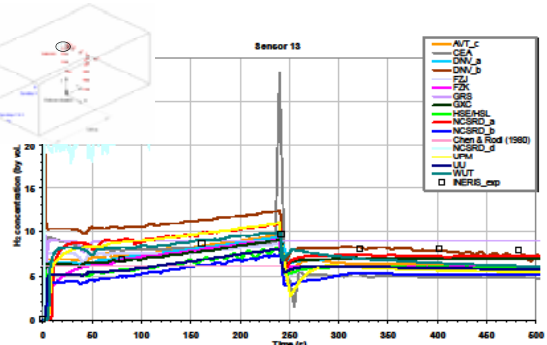


15

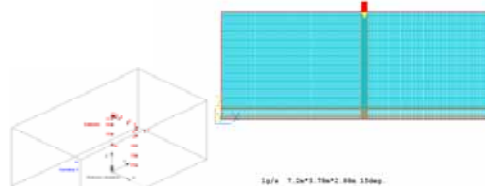
モデル  
センサー16の濃度変化  
Second status report on code validation and  
applicability based on the results of SBEPs

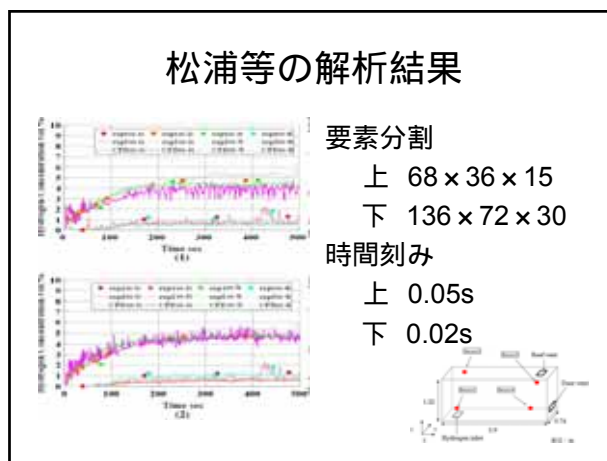
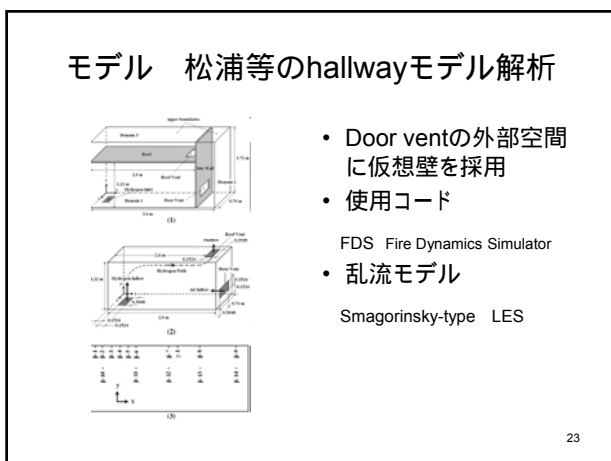
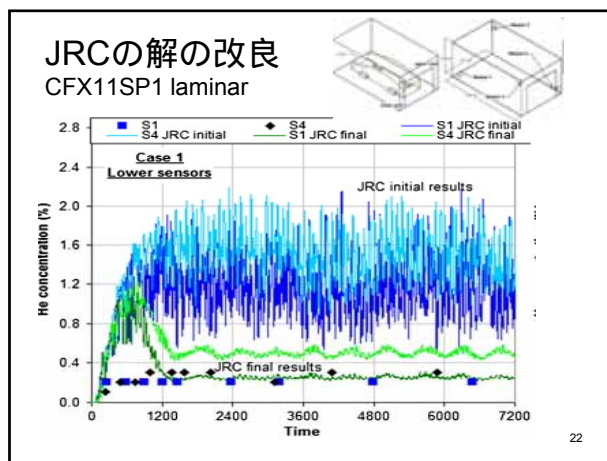
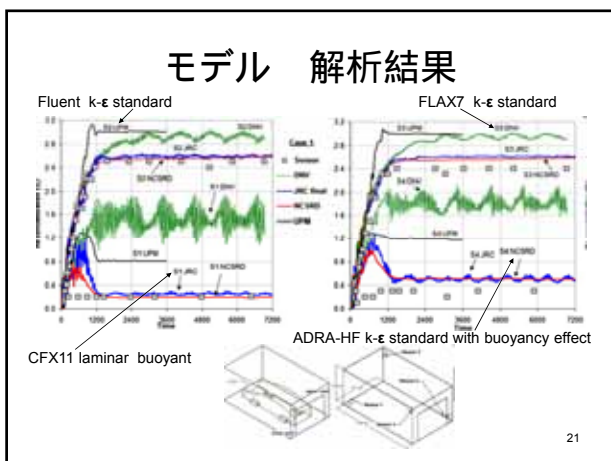
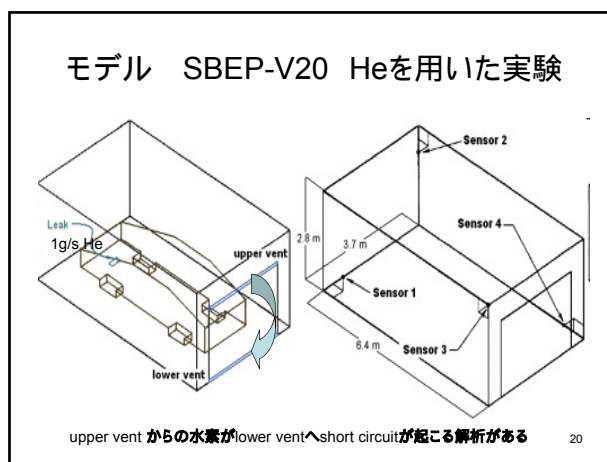
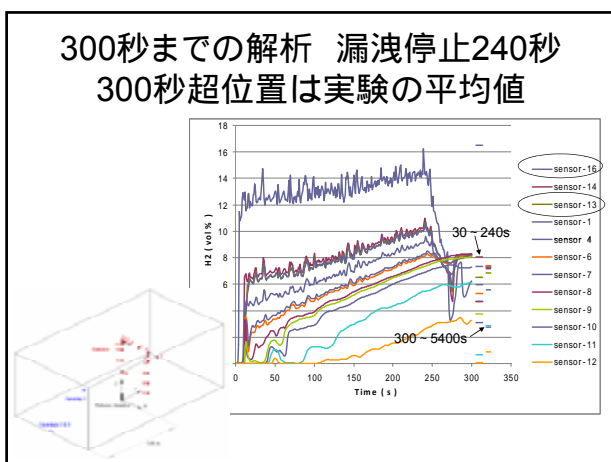


モデル センサー13の濃度変化



モデル の解析格子152 x 87 x 96  
時間刻み0.125秒 X.Y軸入替





## 内容

- 研究の目的
- 解析精度の現状  
International Journal of Hydrogen Energy
- 当分科会の解析精度
- まとめ

25

## 実験データ

福岡水素戦略会議の支援

- 井上雅弘, 月川久義, 金山寛, 松浦一雄,  
“室内における漏洩水素の拡散に関する実験的研究”, 水素エネルギーシステム, Vol33, No4, pp.32-43, 2008
- 井上雅弘, 月川久義, 金山寛, 松浦一雄,  
“ダクト内および天井下における漏洩水素の拡散に関する実験的研究”, 水素エネルギーシステム, Vol34, No1, pp.45-56, 2009

26

## 実験モデルの写真

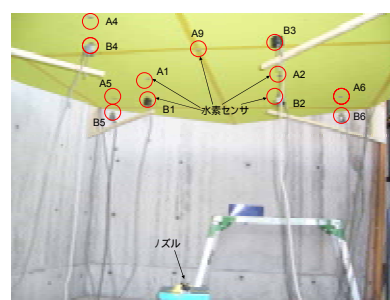


hallwayモデル

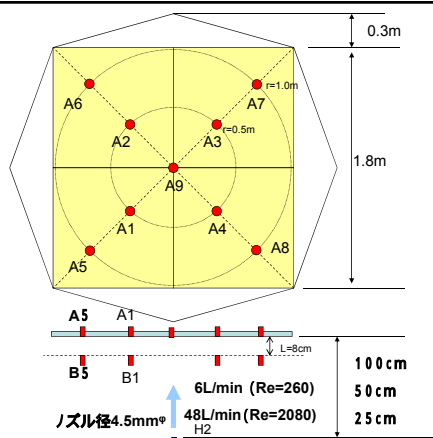
天井モデル

27

## 天井モデル実験の写真



28



29

## Hallwayモデルの Hydrogen Inlet 部



30

## 流量制御: マスフローコントローラー



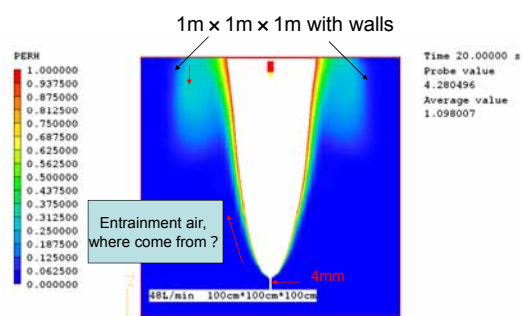
31

## 解析手法

- 使用コード  
PHOENICS 西部ガス総合研究所の支援
- 乱流モデル  
0方程式モデル LEVEL
- 手法  
水素の燃焼流解析において、燃焼を凍結して解析  
物性値はchemkinデータベースを利用

32

天井モデルの解析から、水素噴流が巻き込む  
空気の供給が不足すると水素が降下してくる



34

## Hallwayモデル

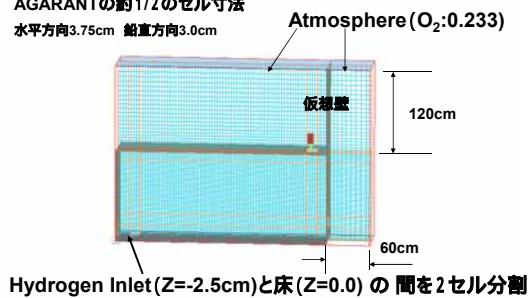
- 従来の解析では仮想壁を設定していた.
- 今回不自然な仮想壁を必要としない解析条件を見出した.

## 従来モデル

Hallway内部の格子(セル)分割  $77 \times 20 \times 45 = 69,300$

AGARANTの約1/2のセル寸法

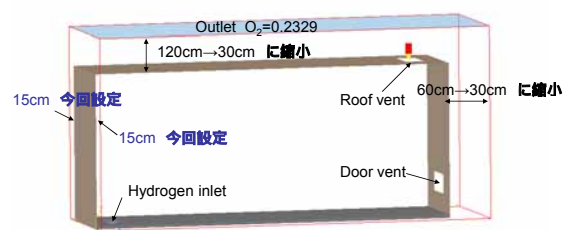
水平方向3.75cm 縦方向3.0cm



Hydrogen Inlet (Z=-2.5cm)と床(Z=0.0)の間を2セル分割

35

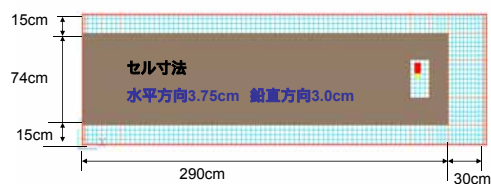
## 解析モデルの概略



36

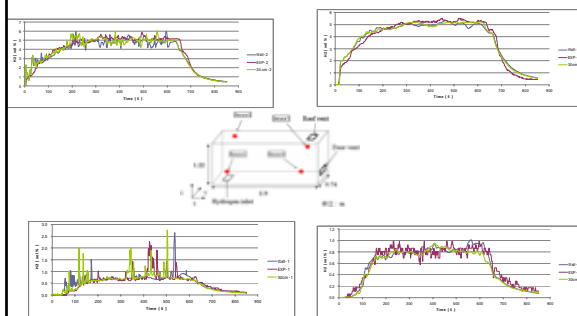
### 格子分割(平面)

87 × 28 × 55 (内部77 × 20 × 45)



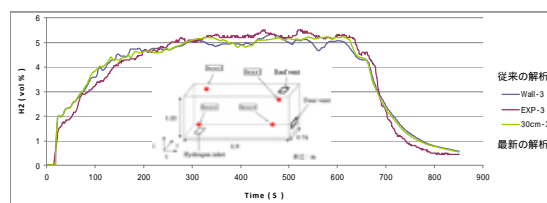
37

### センサ1～4 水素濃度比較 wallが従来, Expが実験, 30cmが今回



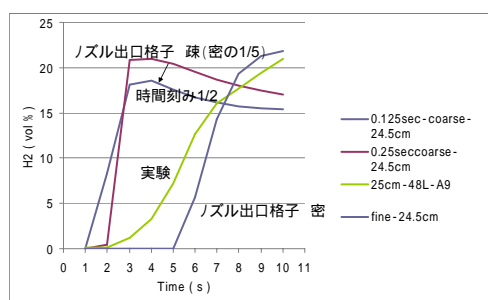
38

### センサー3 拡大



39

### 天井モデル A9センサー水素濃度立ち上がり 天井との距離0.25m 流量48L/min



### まとめ

- 解析精度向上には、解析領域を実験に近づけることが重要である。

水素の流れに巻き込まれる空気の流れ

- 非定常解析において後退オイラー法を採用する場合、クーラン数の上限が有りそう。

クーラン数 = 流速 × 時間刻み / 格子のサイズ

Courant number ≤ 1 陽解法の場合

41