

平成24年度福岡水素エネルギー戦略会議
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
於：水素エネルギー製品研究試験センター 2012.10.2

水素漏洩拡散シミュレーション
解析手法の紹介と解析精度の現状
～ FDSによる解析 ～

錦 慎之助
鹿児島大学 助教

初めに、FDSとは

Fire Dynamics Simulator

「火災」を対象としたCFDソフト

米国立標準技術研究所 (NIST) が開発

例えば、

建物火災、市街地火災、トンネル火災

石油タンク火災 (プール火災)

噴霧燃焼

森林火災 W-FDS (Wildland-urban interface FDS)

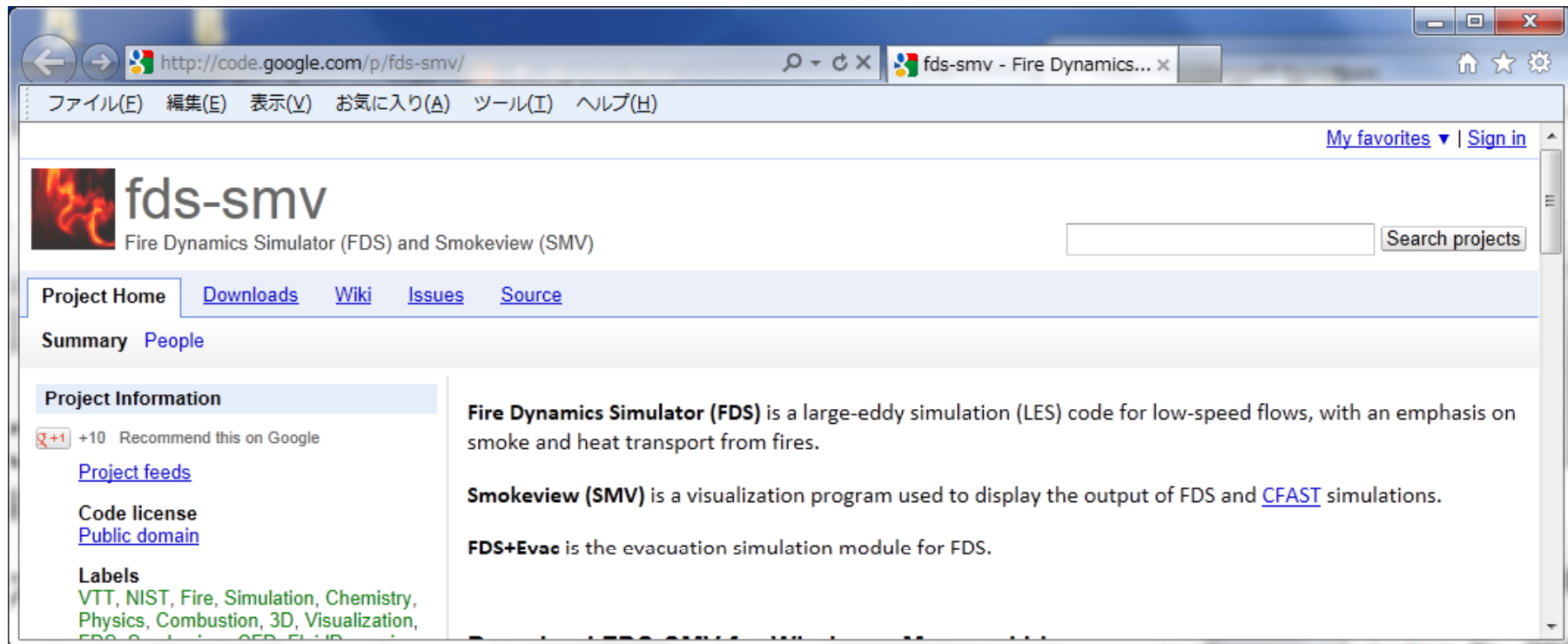
基本は、LES (Large Eddy Simulation) による解析

低マッハ数近似を仮定した圧縮性の運動量保存式、
質量保存式、エネルギー保存式、化学種保存式を解く。
他に、輻射輸送方程式、粒子の移動 (水滴、燃料液滴)。

初めに、FDSとは

ソースコードが公開されており，必要に応じて変更可能。
無料で利用可能（一部のサードパーティー製品を除く）

オフィシャルサイトは、NISTからGoogle Codeへ移動
<http://code.google.com/p/fds-smv/>



初めに、FDSとは

- 計算実行可ファイル FDS
- 可視化ソフト Smokeview

Windows, Macintosh OS X, Linux に対応。

恐らく、計算はLinuxで、可視化はWindowsで行うのが、一番楽。

(Windowsで計算を行うことも可能)

FDS and Smokeview Discussions (Google グループ)

<https://groups.google.com/forum/?fromgroups#!forum/fds-smv>

掲示板のようなもの、メーリングリスト、

一般的な質問等ができる・過去の質問を調べることができる。

fds-smv (Google Code)

<http://code.google.com/p/fds-smv/>

プログラムのダウンロード、開発履歴参照・バグの報告

ユーザーガイド等のダウンロード

初めに、FDSとは

ユーザーガイドが充実 (<http://code.google.com/p/fds-smv/>)

 FDS-SMV Manuals

FDS Technical Reference Guide Volume 1: Mathematical Model.pdf

FDS Technical Reference Guide Volume 2: Verification Guide.pdf

FDS Technical Reference Guide Volume 3: Validation Guide.pdf

FDS Technical Reference Guide Volume 4: Configuration Management Plan.pdf

FDS User Guide.pdf ←計算実行に最も関係がある

Smokeview Technical Reference Guide.pdf ←読まなくても使える

Smokeview User Guide.pdf

Smokeview Verification Guide.pdf

初めに、FDSとは

ソフトウェアの準備 (<http://code.google.com/p/fds-smv/>)

Ⓞ Download FDS and Smokeview

Downloads

Current release version: FDS 5.5.3, SMV 5.6



Ⓞ FDS-SMV for Windows (64-bit)



Ⓞ FDS-SMV for Mac OS X (64-bit)



Ⓞ FDS-SMV for Linux (64-bit)

インストールすると、
ユーザーガイド、
Exampleもコピーされる。

To download other versions of FDS or Smokeview, including 32-bit versions, view a [list of current downloads](#).

ソースコードを
ダウンロードして、
コンパイルすることもできる。



32bit版や個別にダウンロード
したい場合、
過去の実行ファイル等を
ダウンロードしたい場合

初めに、FDSとは

必要な計算環境

性能が良いほど良い。

ただし、x86系のCPU推奨。

条件分岐が多いので、ベクトル化は期待できない。

- ・ 実際に九州大学の研究用計算機システムのFX10（京の後継機とされる）やSR16000では、計算が遅い。コンパイルを通すのも一苦勞（←SR16000）。
- ・ CX400（Intel Xeon）は早い。Linuxの実行ファイルが使える。

普通のパソコンで解析する、が開発の考え方。

初めに、FDSとは

計算の流れ

- ・ **インプットファイルの作成**
計算条件の設定（テキストファイル） ←慣れれば簡単に手書き
Third-party Tools がある（<http://code.google.com/p/fds-smv/>）
PyroSim（有償ソフトウェア）
BlenderFDS（無償ソフト、図を作成して形状をFDS用に変換）
CADデータから形状データをFDS用に変換するソフト など
- ・ **計算実行**
具体的な計算の流し方は、FDS User Guide.pdf の
「3 Running FDS (p9 ~)」を参照。
- ・ **可視化**
3次元で可視化
インプットファイルで指定した出力ファイルのグラフ化

F D S の計算例

水素漏えい拡散のシミュレーション
Hallway model

→ 福岡水素エネルギー戦略会議の支援で
CFD解析者の検証用に行われた実験データ
(九州大学月川先生から提供いただいた実験データとの比較)

* 日本機械学会 九州支部 第65期総会・講演会 (2012年3月) で発表

計算対象 Hallway model



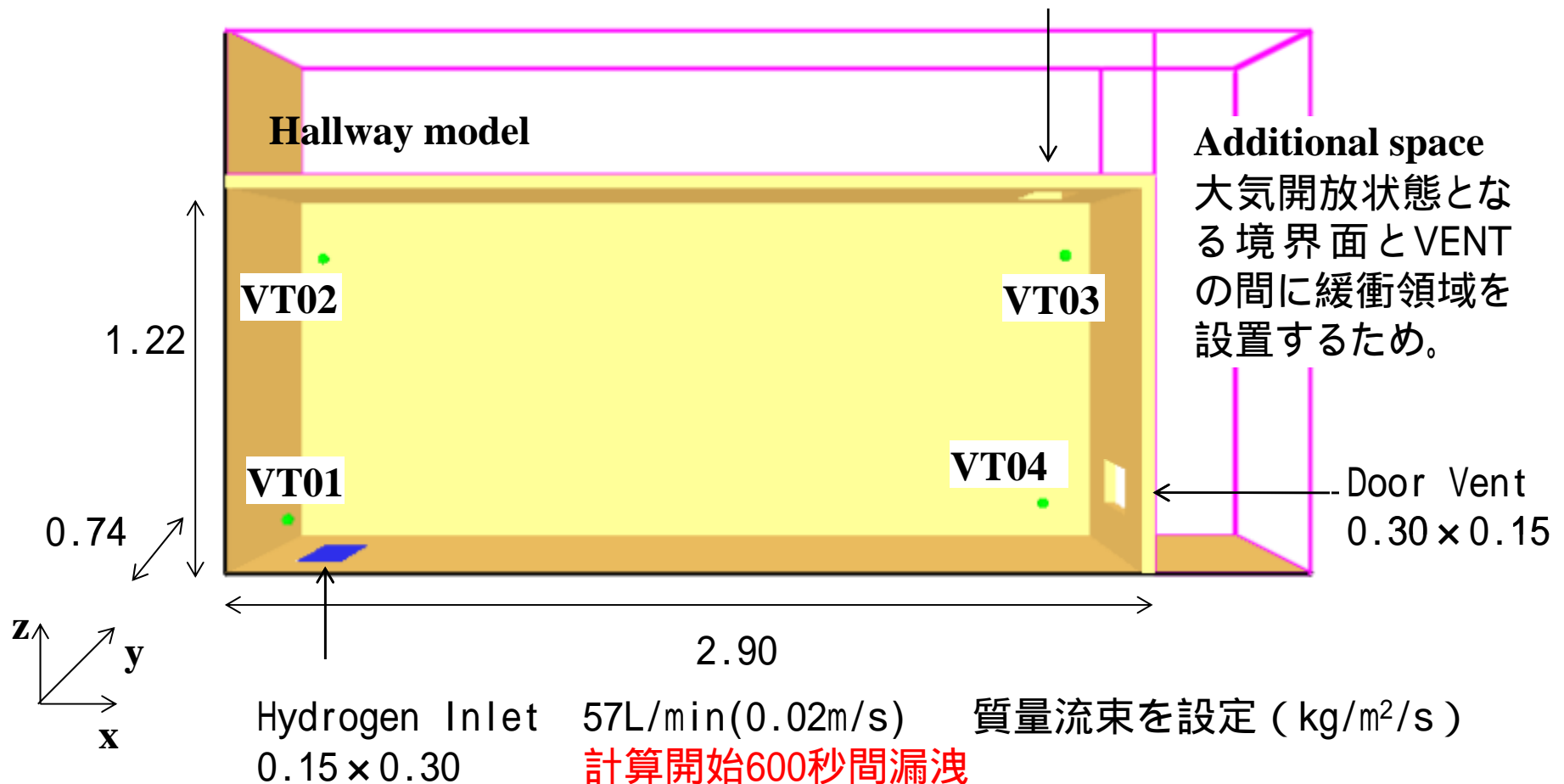
月川，金山，松浦，井上，
水素エネルギーシステム，
28-35，2008

計算モデル Hallway model

センサーVTで水素濃度時間履歴を記録

Roof Vent
0.15 × 0.30

単位：m



計算方法

FDS Version 5.5.3 Revision No.7031 を使用した。
正式リリース版では、FDS Version 5の最終版。
現在、FDS Version 6 が開発中。

LES を利用。

基本的には、FDSのデフォルト値をそのまま使用した。
ただし、壁の境界条件は、**滑りなし**・断熱条件とした。

*火災のシミュレーションで、比較的大きな格子でも計算結果が実験とよく合うように、壁の速度境界モデルは、Werner and Wengle modelが使用されているので、これを使わないことにした。

また、輻射の輸送方程式は解かない（計算時間短縮）。

九州大学情報基盤研究開発センターのsugokaで計算。
（現在は、sugokaサービス終了）
並列化なし、計算時間約2時間。

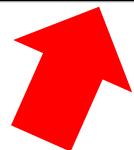
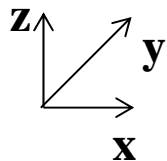
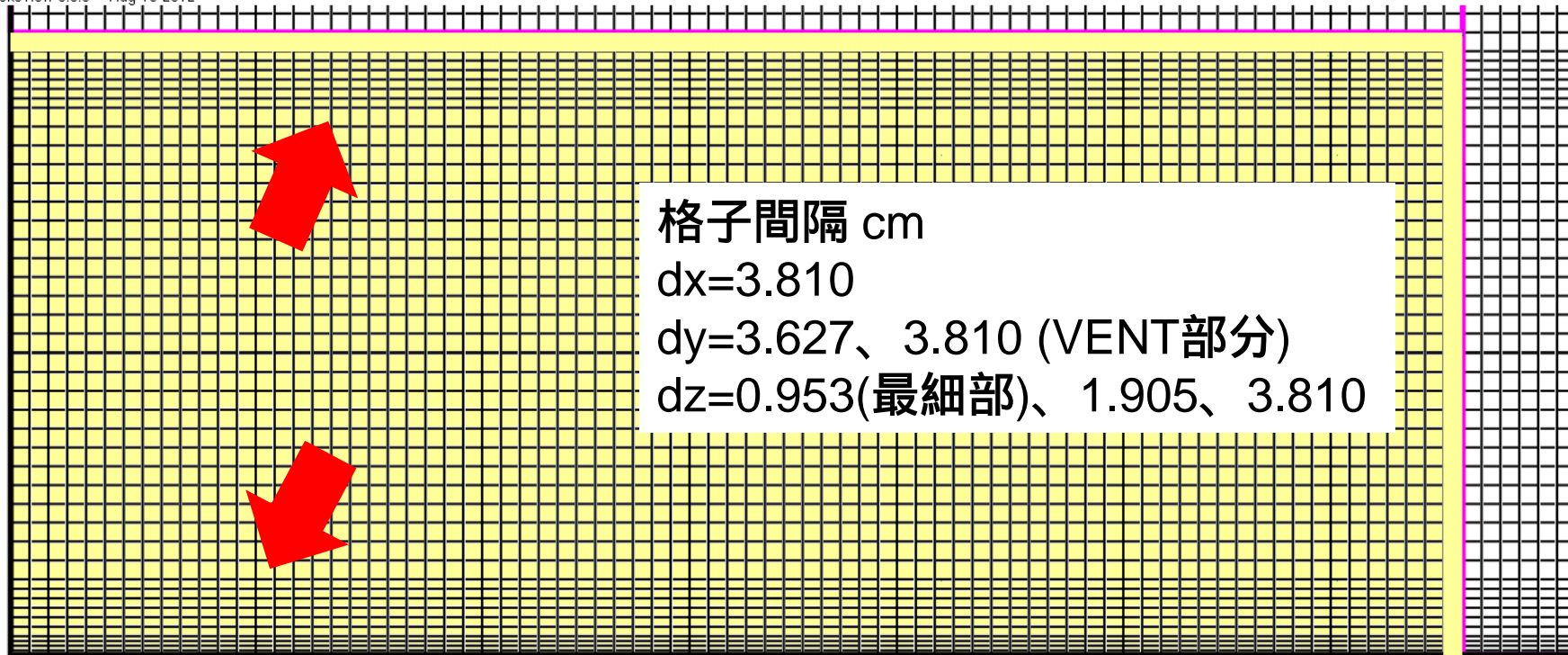
計算方法

格子間隔を床面と天井面近傍で細かくしてある。

* 不等間隔格子が使えるのは、3方向のうち、2方向まで。

* 奥行き方向格子間隔はVENTのサイズを実験に合わせるために、調整。

Smokeview 6.0.3 - Aug 18 2012

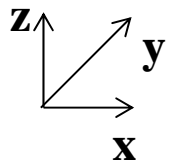
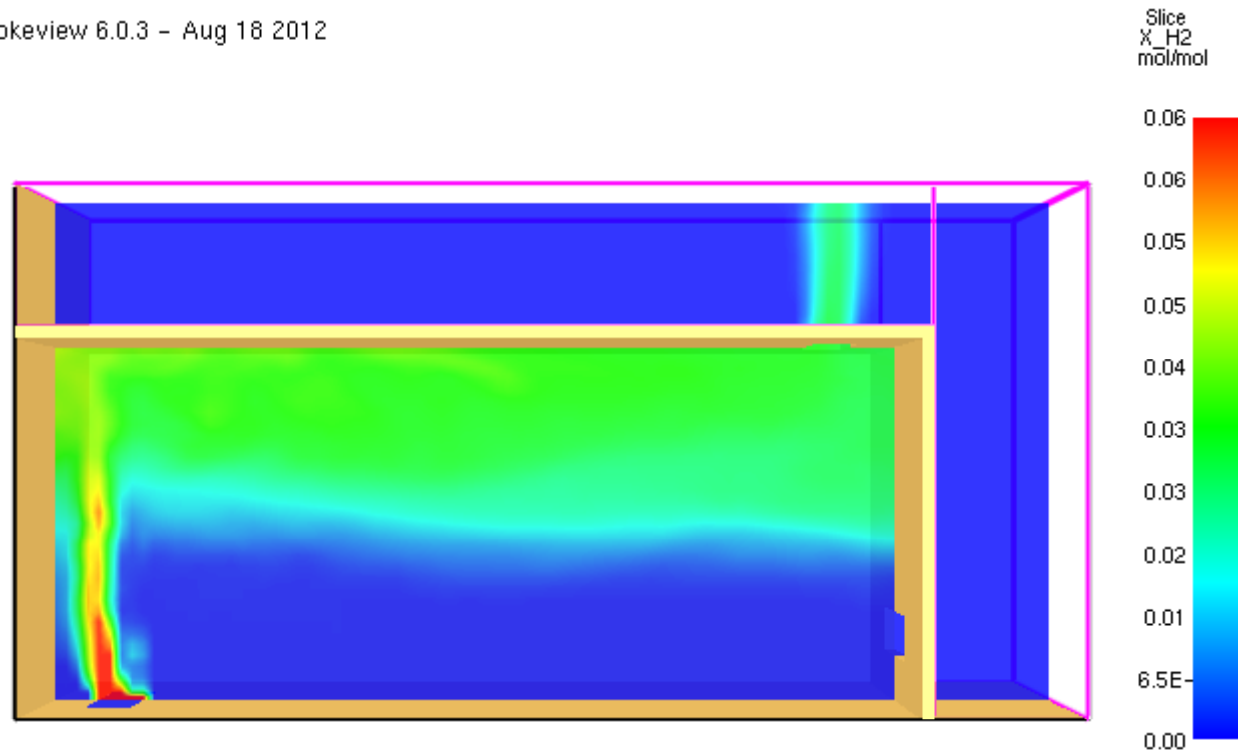


床面はさらに細かい

計算結果

水素濃度分布（奥行き方向中央断面） 50秒

Smokeview 6.0.3 - Aug 18 2012



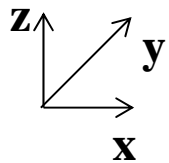
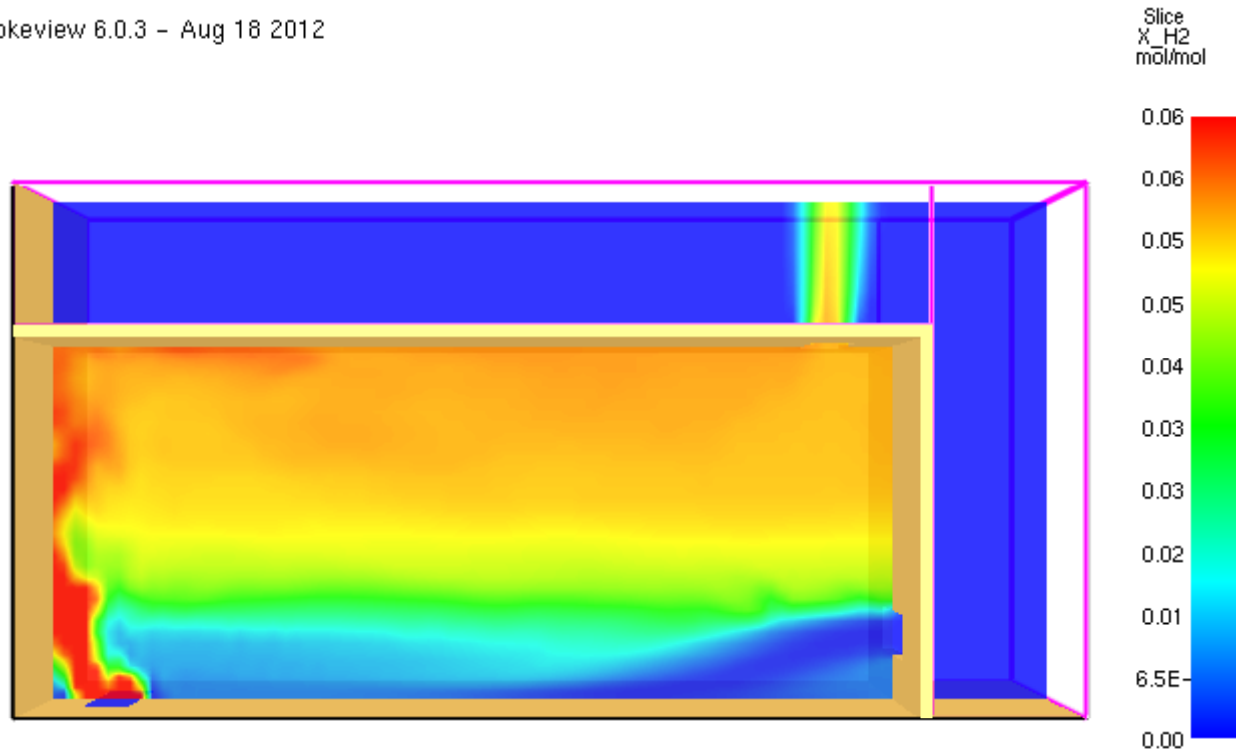
Frame: 50
Time: 50.0



計算結果

水素濃度分布（奥行き方向中央断面） 350秒

Smokeview 6.0.3 - Aug 18 2012



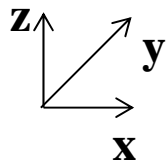
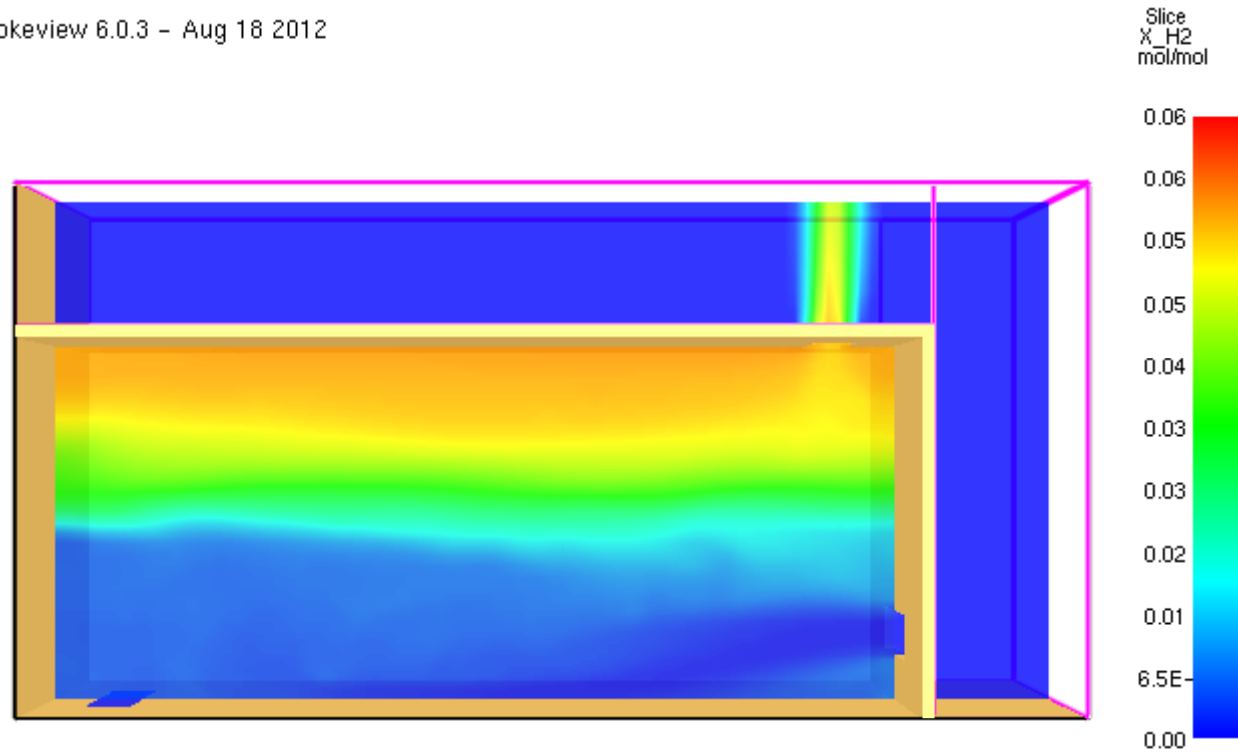
Frame: 350
Time: 350.0



計算結果

水素濃度分布（奥行き方向中央断面） 650秒

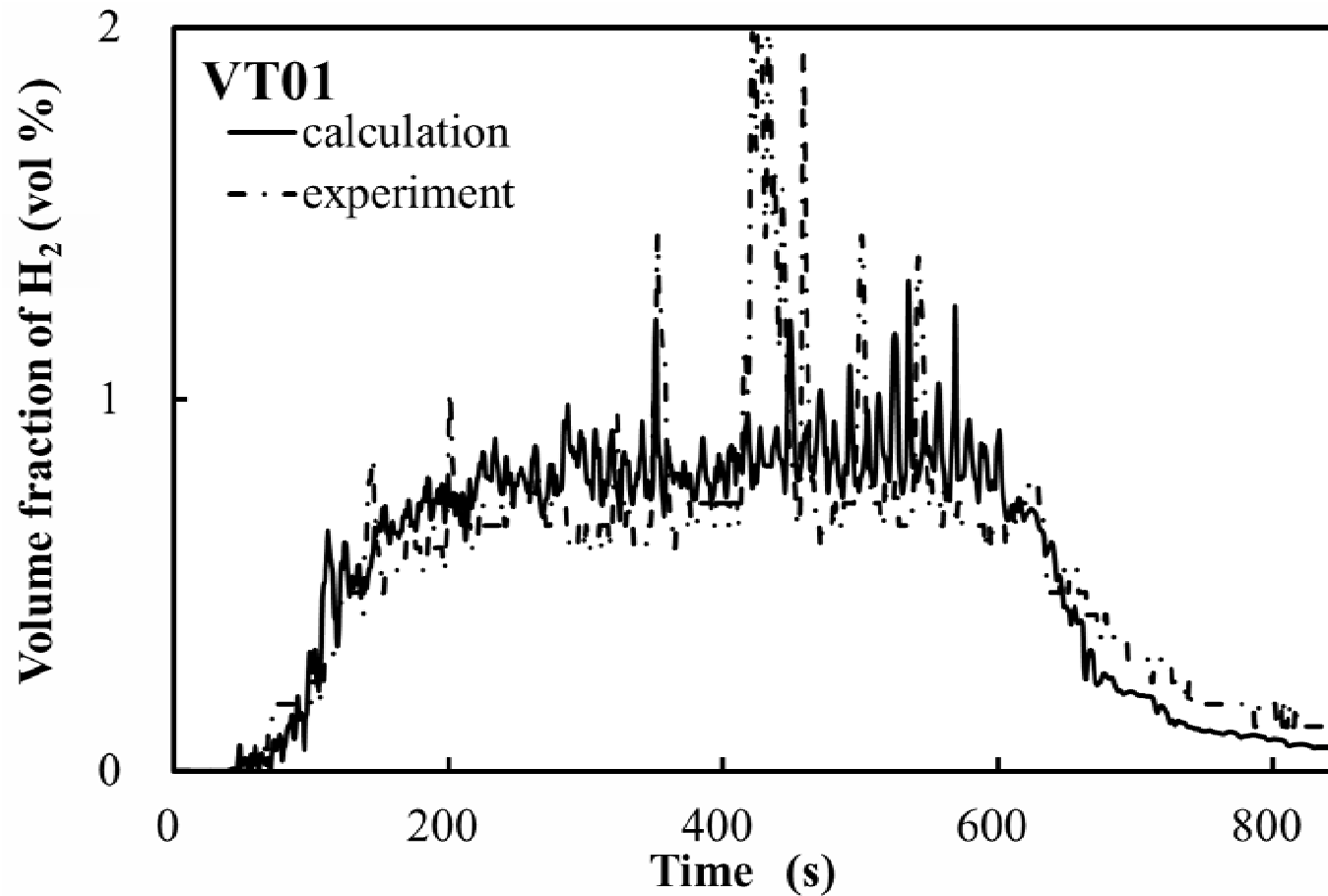
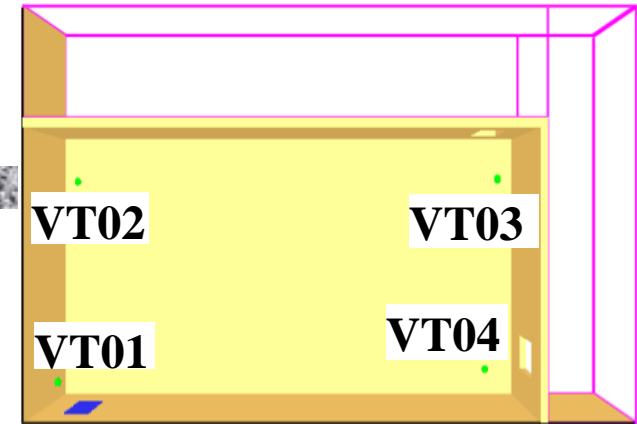
Smokeview 6.0.3 - Aug 18 2012



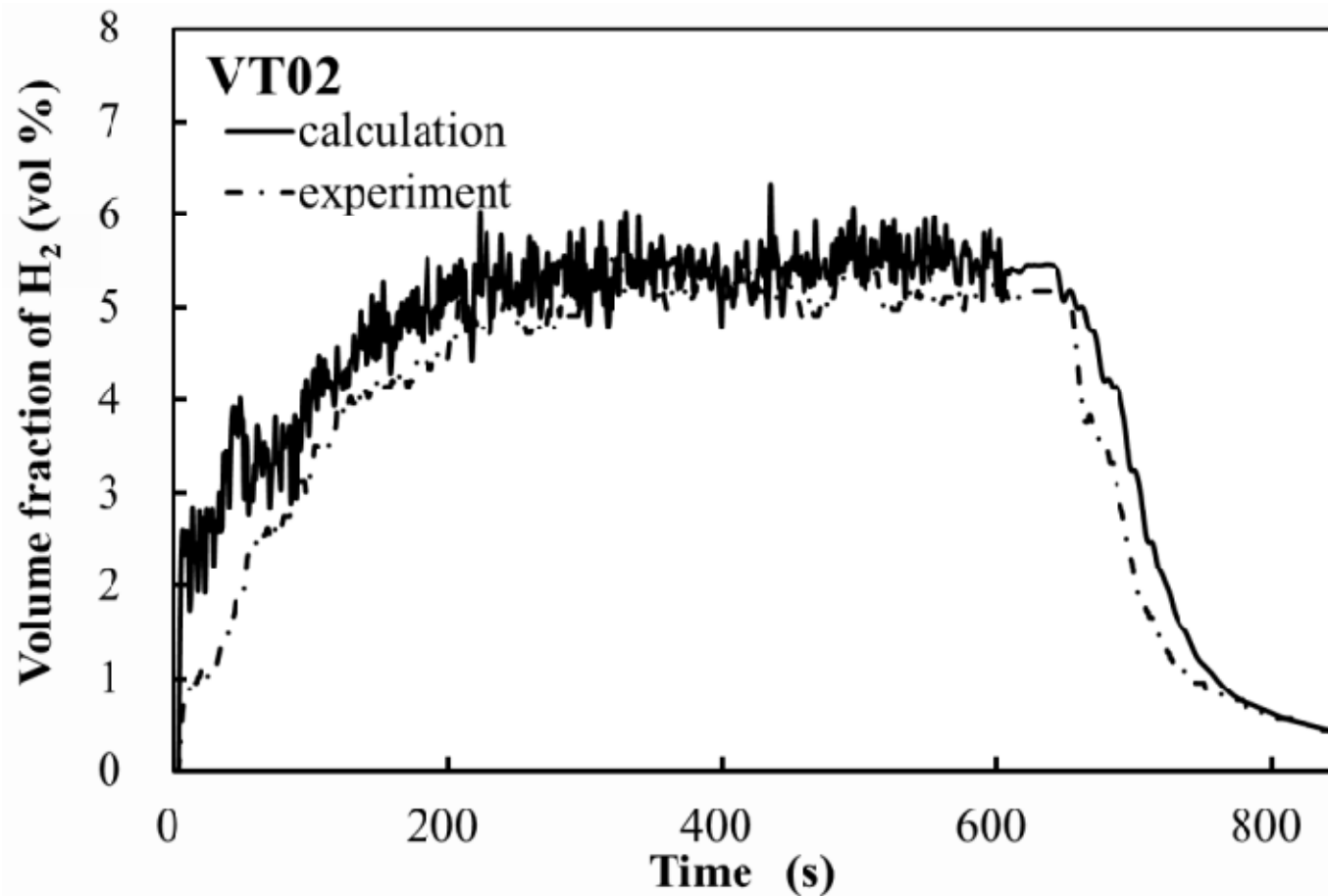
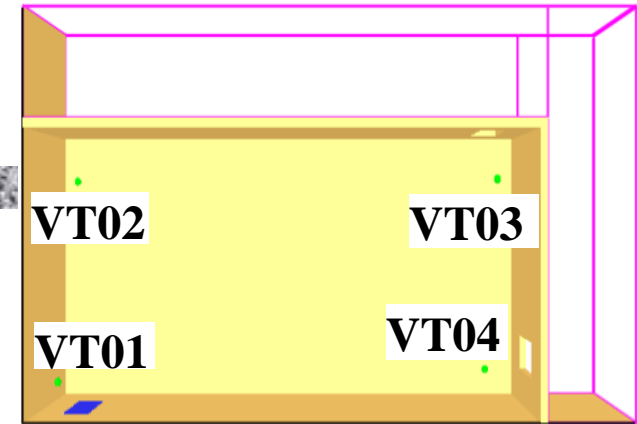
Frame: 650
Time: 650.0



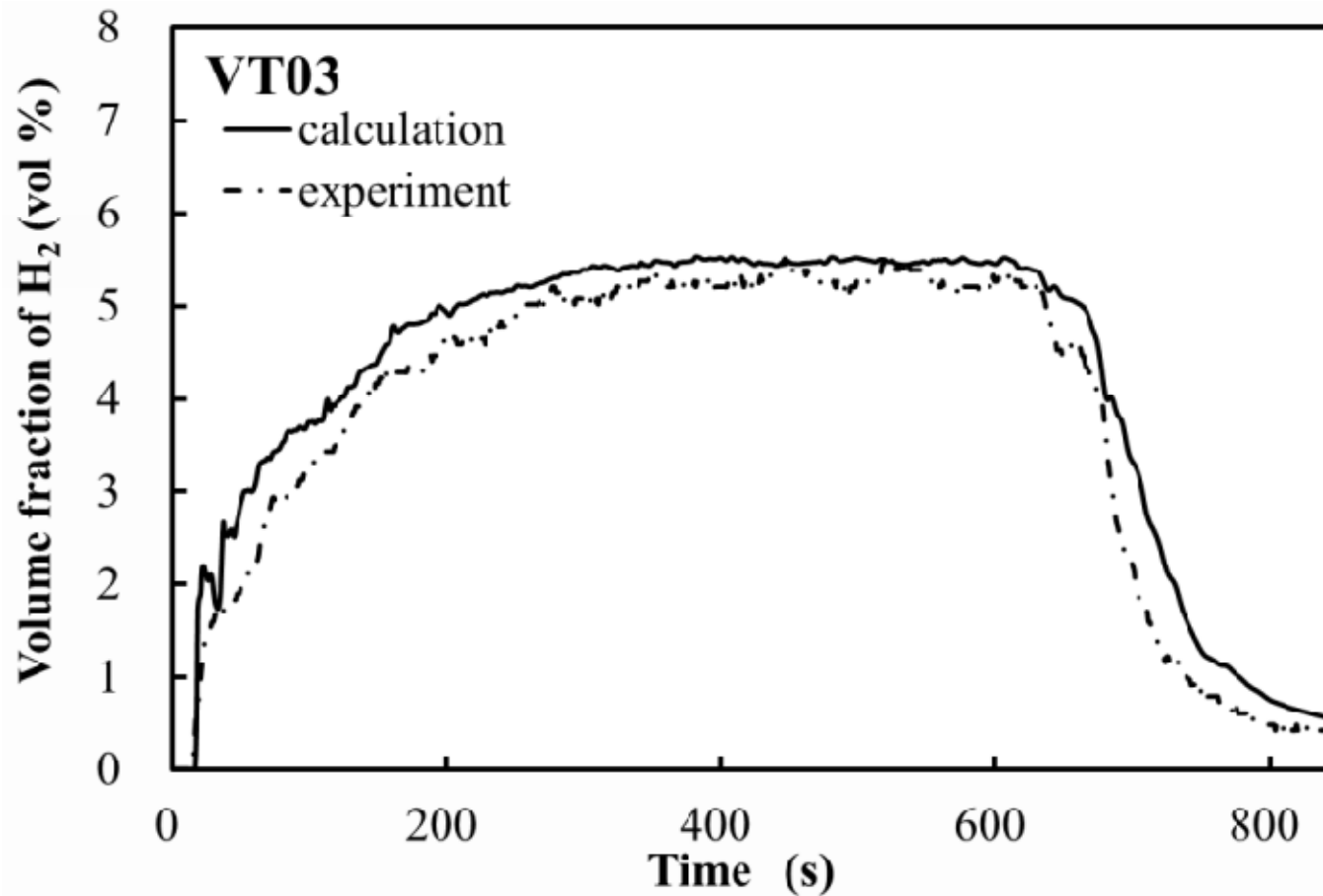
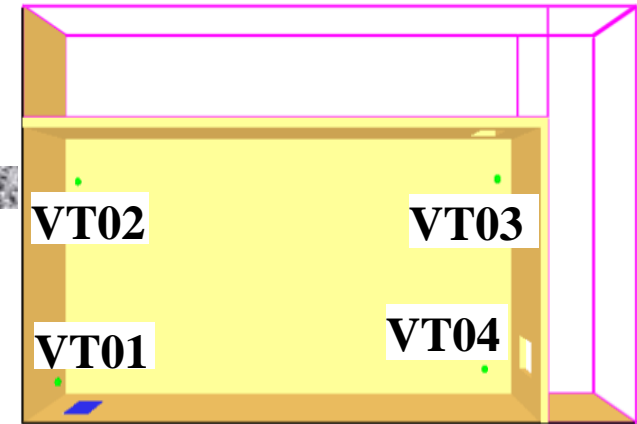
水素濃度の比較 VT01



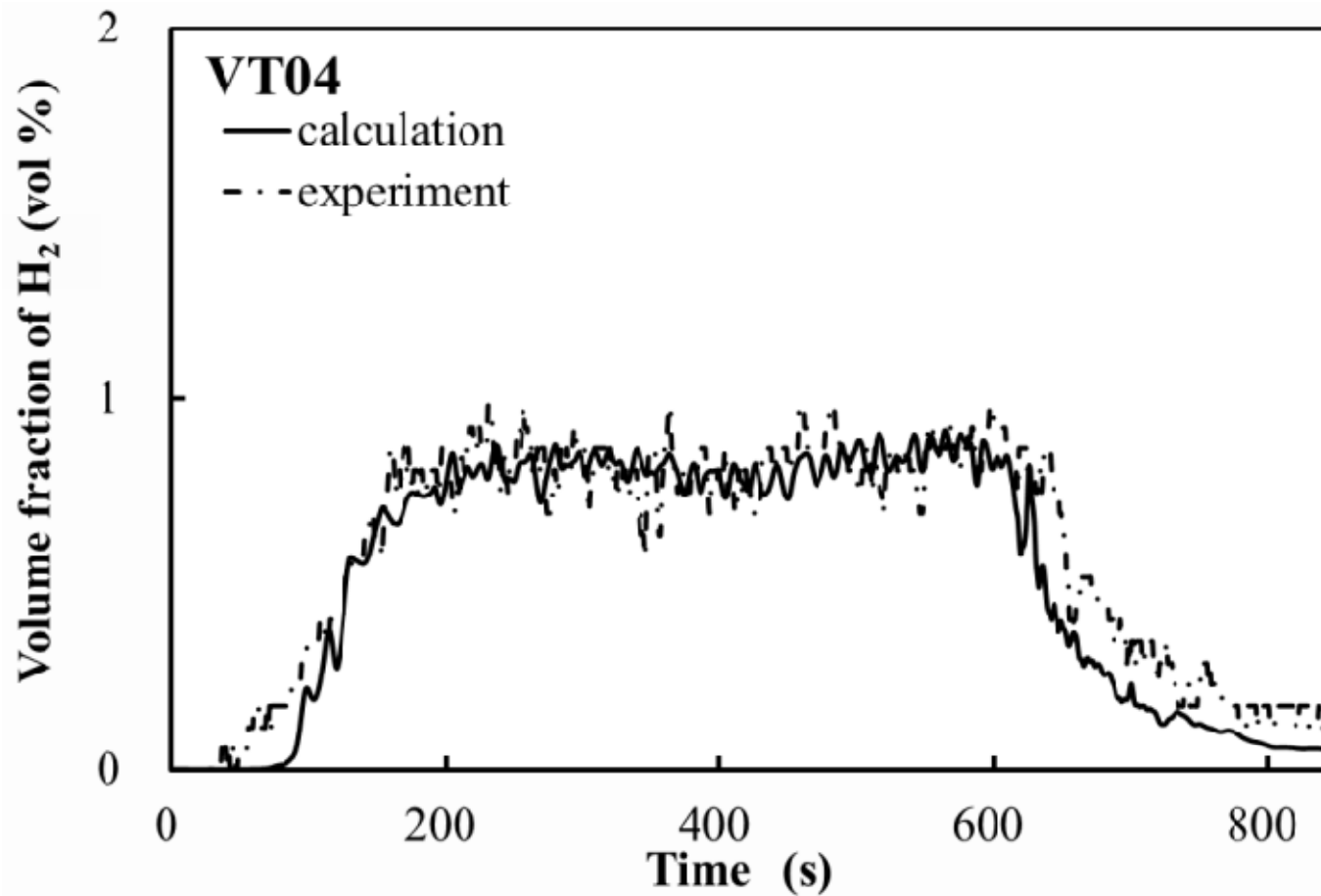
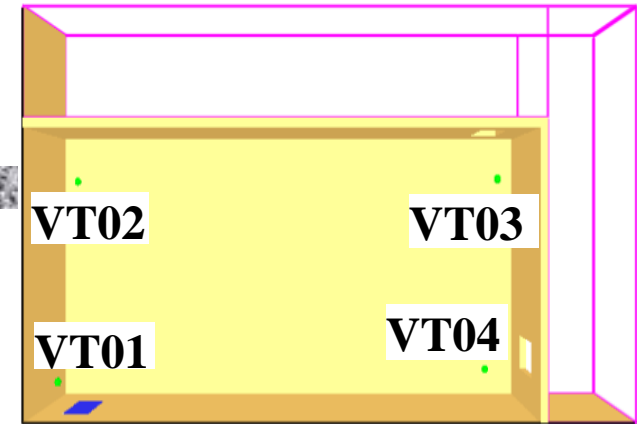
水素濃度の比較 VT02



水素濃度の比較 VT03



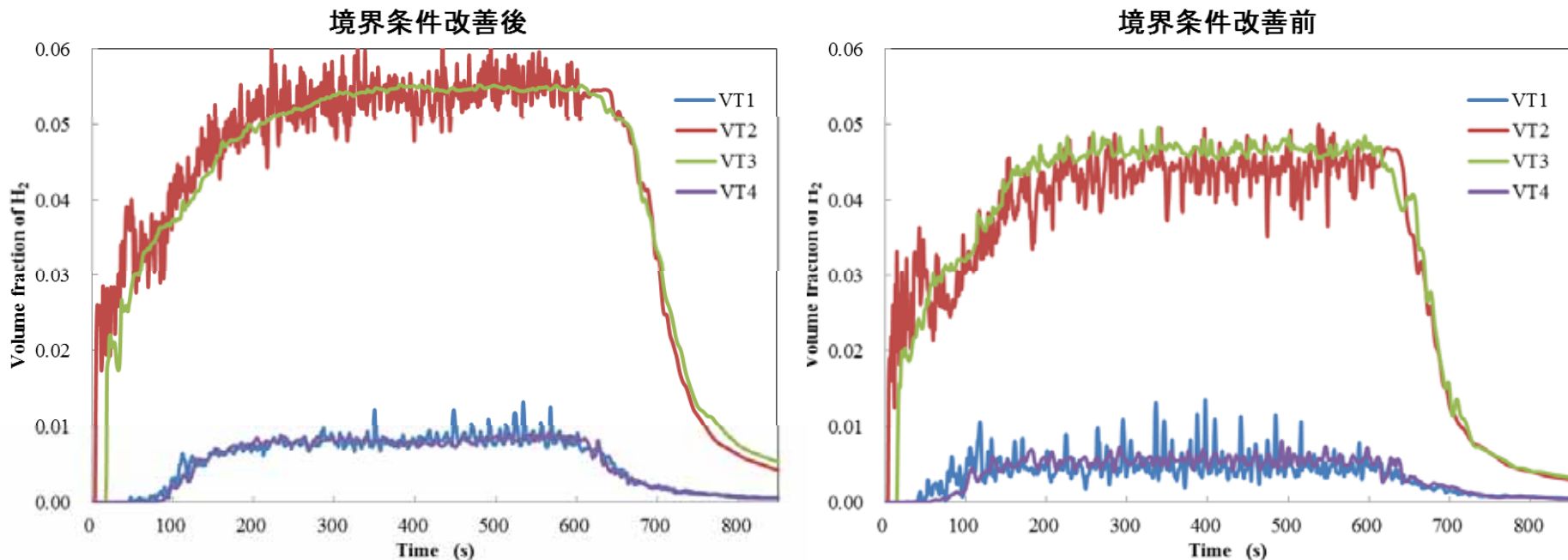
水素濃度の比較 VT04



水素漏れシミュレーションのまとめ

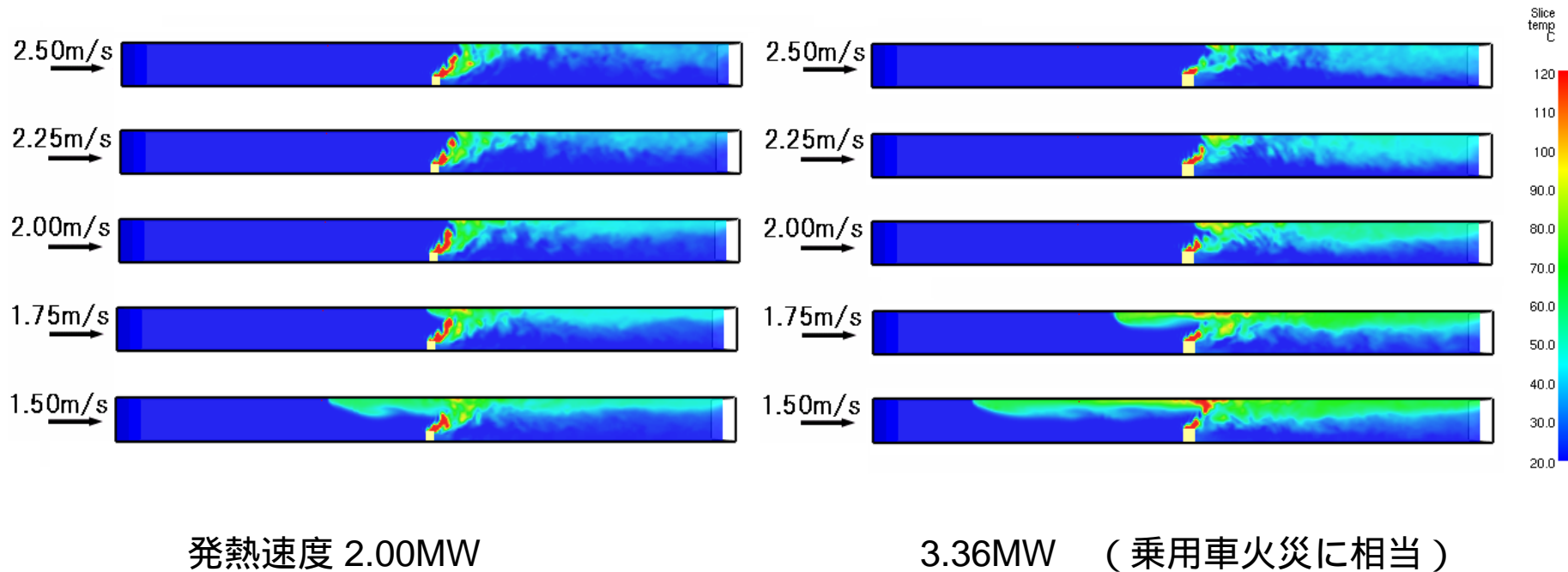
今回比較した4点の水素濃度の時間履歴は、
計算結果が実験データを精度良く再現できている。

格子点間隔の調整、壁の速度境界条件の変更を行い、
計算精度を向上することができた。
壁の速度境界条件がデフォルト設定の場合、
水素濃度は、全体的に低い値を示した。



FDSによるトンネル火災の計算例

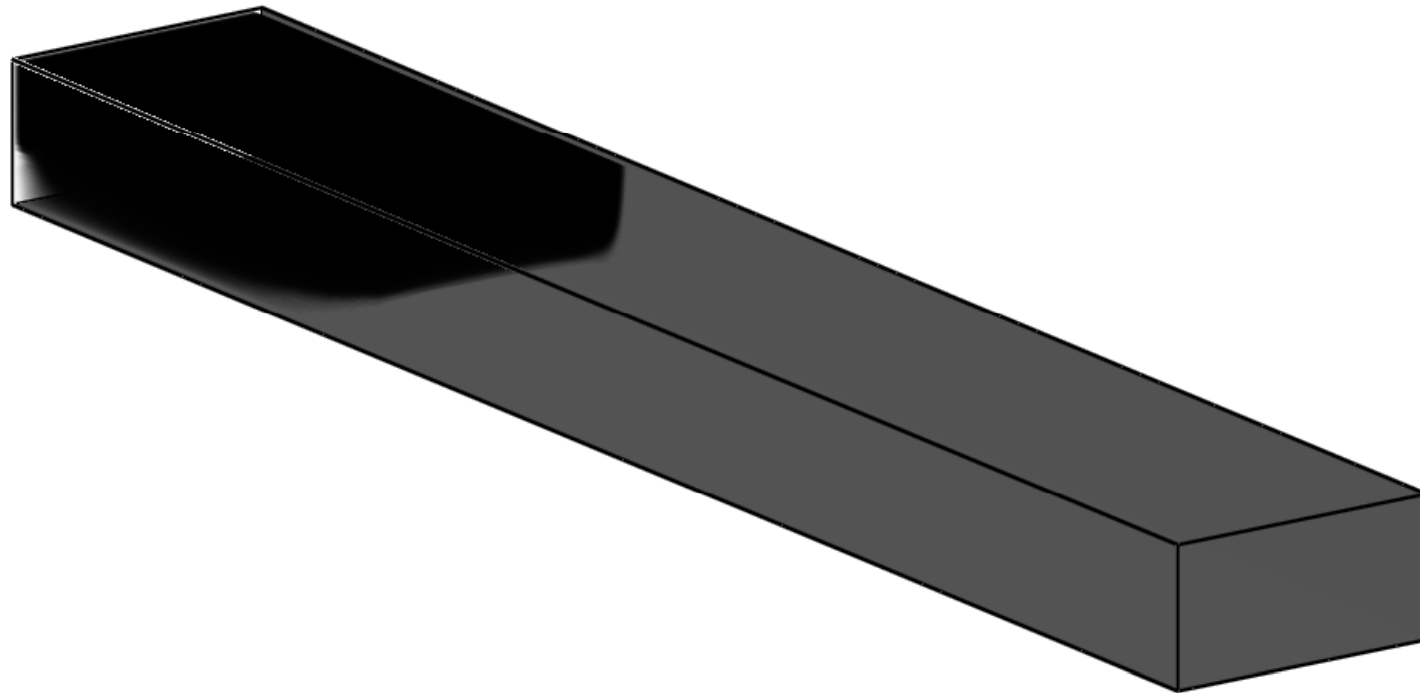
換気による熱気流遡上阻止



錦慎之助，常谷梨津子，門脇敏，
熱工学コンファレンス2010講演論文集: 1-2 (2009)

FDSによるトンネル火災の計算例

煙の拡散の様子（高さ方向のスケールを10倍に拡張して表示）



Time: 200.0

川路洋介，錦慎之助，
日本機械学会2012年度年次大会DVD論文集: J121014 (2012)

FDSによる水素の計算の可能性

FDSは火災を対象として開発されたソフトウェアであるが、トンネルや閉空間の水素の拡散シミュレーションであれば、計算実行可能である。

水素、メタン、プロパン、一酸化炭素の拡散シミュレーションを実行して、分子量の違いによる挙動の違いを示すことができた。
(錦慎之助、林徹也、門脇敏、第48回燃焼シンポジウム)

FDSは低速流を対象としており(低マッハ数近似)、衝撃波を伴うような爆発の計算には向いていない。