

# 建物内の火災安全・防災 のためのシミュレータ Advance/EVE SAYFA の機能紹介と事例紹介

第3事業部 富塚 孝之

プラント防災とシミュレーションセミナー  
2016年4月26日（火曜日）  
アドバンスソフト株式会社

## 目次

---

1. 背景
2. 火災シミュレーションモデル
3. Fire Dynamics Simulator (FDS)
4. 建内火災安全・防災のためのシミュレータ  
Advance/EVE SAYFA
5. EVE SAYFAとFDSの連成解析機能
6. 連成解析事例

## 背景

- 近年の数値シミュレーション技術の進歩とともに、火災安全分野に対してCFDを用いた火災シミュレーションが盛んになってきたが、超高層建築物、大型船舶、大規模プラントなどを丸ごとシミュレーションするには無理
- リスク評価の観点から、多数の火災シミュレーションを実施する必要があるため、マクロモデルに基づく方法とCFDを併用するシミュレーションモデルに着目
- 一方、火災実験は費用面、安全面、環境面などで負荷が大きく、実施が困難
- 火災数値シミュレーションの役割は防火対策を考慮した安全設計の支援、消火方法、延焼を防ぐ方法を検討するための支援
- 火災被害で考慮すべきは現象は多岐に渡り、複雑
  - 燃焼
  - 煙の流動性
  - 火炎からの放射熱
  - 爆発

## 背景

- 建物火災
- トンネル火災
- 市街地火災
- 車両火災
- タンク火災



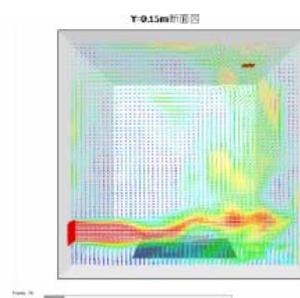
■写真1 兵庫県南部地震直後の神戸市街の火災の様子  
(神戸山手大学都市交流学科 小林郁雄教授提供)

# 火災シミュレーションモデル

- ゾーン(Zone)モデル
  - 建物区画の煙流動性状をマクロな観点から単層もしくは二層とみなして、気体の質量や熱的なバランスから記述した実用的モデル



- フィールドモデル(CFDモデル)
  - 建物区画を多数のセルに分割、熱・煙流動をミクروسケールから予測するモデル



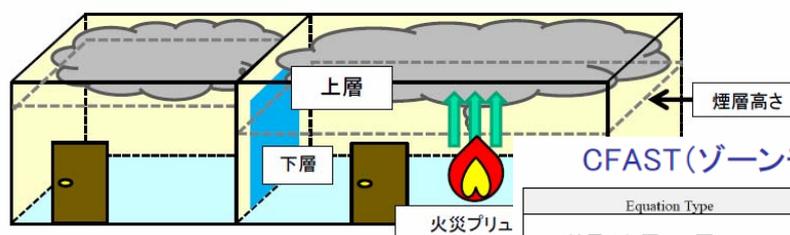
# 火災シミュレーションモデル

## 世界の主要な火災解析コード

解析コード	CFAST	SYLVIA	FDS	ISIS
開発主体	米国NIST	仏IRSN	米国NIST	仏IRSN
数値解法	Zone	Zone	CFD	CFD
最大火災室数	30	多数	少数	少数
壁面熱伝達	有	有	有	有
低層ガス温度計算	有	有	3D温度計算	3D温度計算
火災源(発熱源)	有	有	有	有
ガス濃度計算	有	有	有	有
火災検知モデル	有	有	有	有
スプリンクラー	有	有	有	有

# 火災シミュレーションモデル

## • ゾーン (Zone) モデル [CFAST]



CFAST (ゾーンモデル) 基礎式

Equation Type	Differential Equation
質量 (上層・下層)	$\frac{dm_i}{dt} = \dot{m}_i$
圧力 (部屋内一様)	$\frac{dP}{dt} = \frac{\gamma-1}{V} (\dot{h}_L + \dot{h}_U)$
エネルギー (上層・下層)	$\frac{dE_i}{dt} = \frac{1}{\gamma} (\dot{h}_i + V_i \frac{dP}{dt})$
層体積 (上層) <sup>2</sup>	$\frac{dV_U}{dt} = \frac{1}{\gamma P} (\gamma - 1) \dot{h}_U - V_U \frac{dP}{dt}$
ガス密度 (上層・下層)	$\frac{d\rho_i}{dt} = -\frac{1}{c_p T_i V_i} (\dot{h}_i - c_p \dot{m}_i T_i) - \frac{V_i}{\gamma-1} \frac{dP}{dt}$
ガス温度 (上層・下層)	$\frac{dT_i}{dt} = \frac{1}{c_p \rho_i V_i} (\dot{h}_i - c_p \dot{m}_i T_i) + V_i \frac{dP}{dt}$

\*Walter W. Jones, et. al "CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 5) Technical Reference Guide", NIST Special Publication 1030, 2004

- 建物内の空間は煙層 (高温部) と空気層 (常温部) の均質な上下の層 (ゾーン) に区分される。
- 上下層は水平な境界面 (煙層高さ) で区分される
- 上層・下層間の質量・エネルギー移動は「火災ブリューム」「開口流」等によって生じる。

# Fire Dynamics Simulator (FDS)

## • CFDモデル [FDS (Fire Dynamics Simulator)]

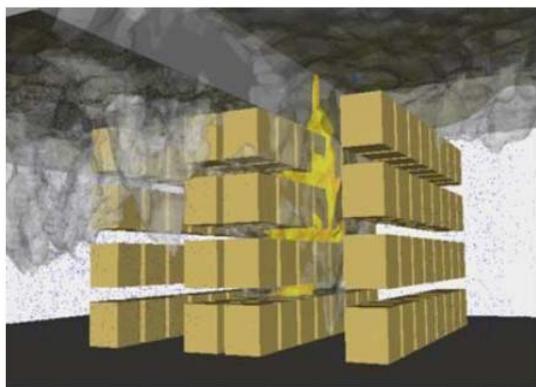
- 米国商務省標準技術研究所/建築火災研究所 (NIST/BFRL)にて開発。ベースとなるCFDモデルのBF3Dコードに改良を加えるとともに、火災現象をPC上で容易に可視化再現できるSmokeViewと呼ばれる後処理を充実させたもの。2000年に公開。
- 火災研究者・技術者の間で、2000年以降急速に普及してきている。火災のCFDプログラムとしては、デファクトスタンダード的な存在
- 世界中で実験との比較検討を通じて火災現象予測の妥当性の検証が充実してきているのも安心して使える理由の一つ。

# Fire Dynamics Simulator (FDS)

- 低マッハ数近似に基づく弱圧縮性流体3次元モデル
- 乱流モデルとしてLES (Large Eddy Simulation) モデルを採用、サブグリッドスケール (SGS) モデルはSmagorinskyモデル
- 対流項スキームは擬似的な空間2次精度中心差分法
- 時間積分には予測子-修正子法による時間2次精度の半陰解法
- マルチブロック構造格子でスタaggerド格子を採用
- 渦消散モデルと酸素消費法を組み合わせ、換気支配火災や消炎にも対応可能な独自の乱流拡散燃焼モデル
- 燃焼反応モデルとして、多成分化学種を一段階反応で取り扱えるように混合分率 (Mixture Fraction) モデルを採用

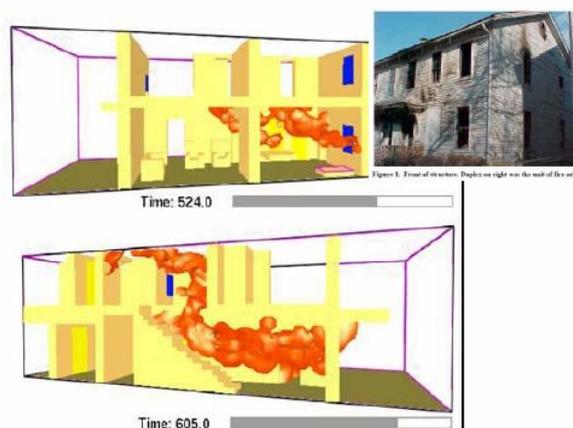
# Fire Dynamics Simulator (FDS)

事例1. ラック式倉庫火災時のスプリンクラーによる燃焼抑制を含むCFDシミュレーション



Baum H. R. Large Eddy Simulations of Fires: "From Concepts to Computations", *Fire Protection Engineering*, No. 6, 36-38, 40, 42, Spring 2000.

事例2. 火災調査へのCFDシミュレーション適用事例

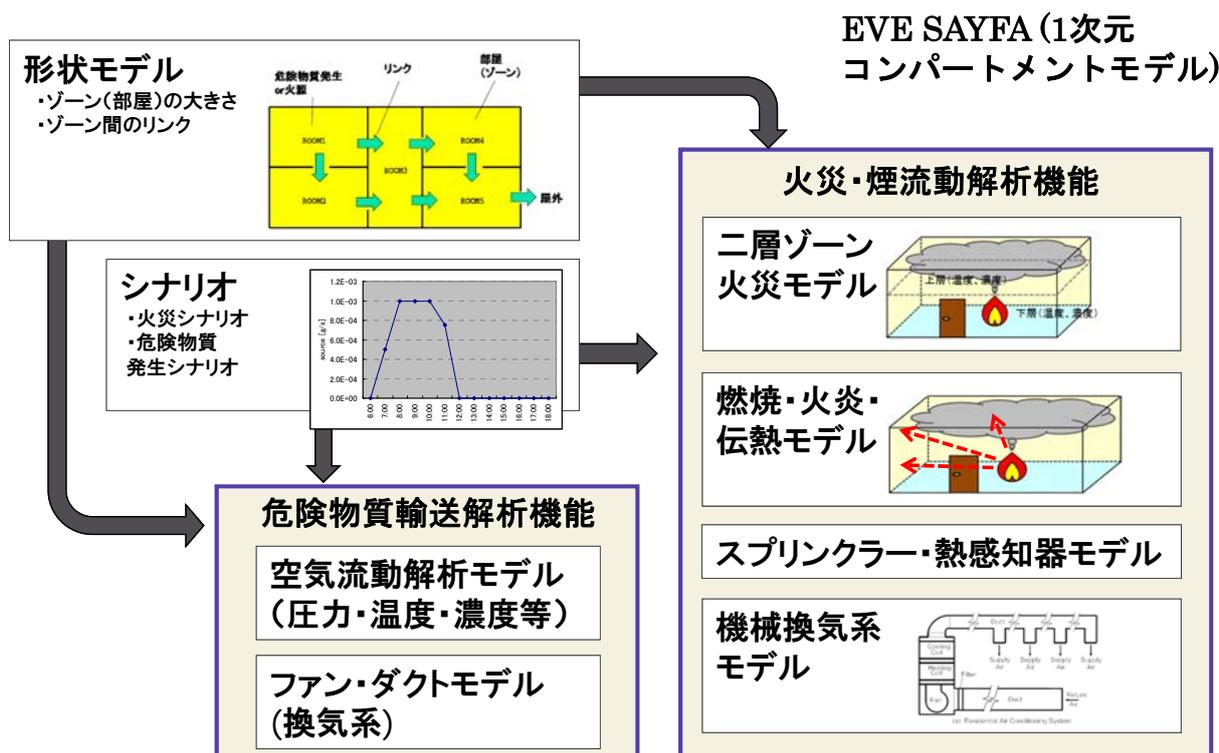


D. Madrzykowski, G. P. Forney, W.D. Walton, "Simulation of the Dynamics of a Fire in a Two-Story Duplex - Iowa, December 22, 1999" NISTIR, (2002 Jan)

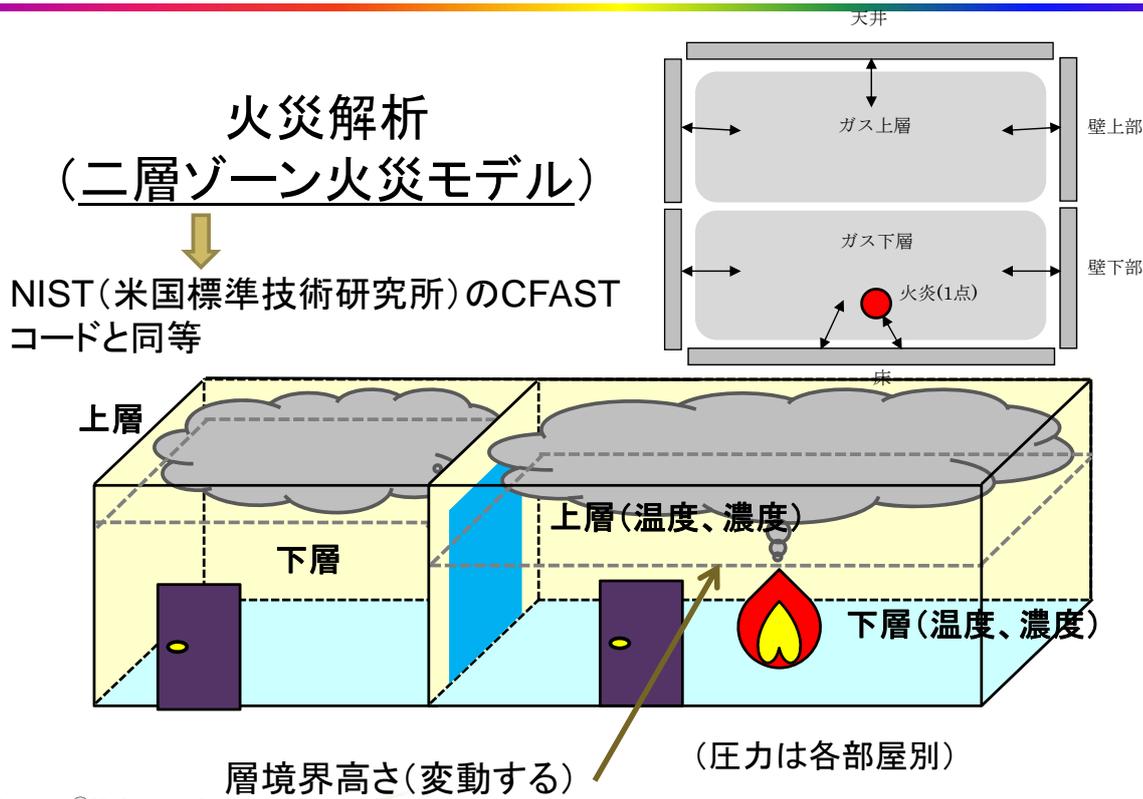
# 建物内の火災安全・防災のためのシミュレータ Advance/EVE SAYFA

- 文部科学省の国家プロジェクトとして開発したプログラムを、アドバンスソフト株式会社が改良整備した火災・有害物質拡散解析ソフトウェア
- 二層ゾーン火災モデルの採用
- 急激な火災に対応可能な換気モデル

# 建物内の火災安全・防災のためのシミュレータ Advance/EVE SAYFA



# 建物内の火災安全・防災のためのシミュレータ Advance/EVE SAYFA



# 建物内の火災安全・防災のためのシミュレータ Advance/EVE SAYFA

## 機能一覧

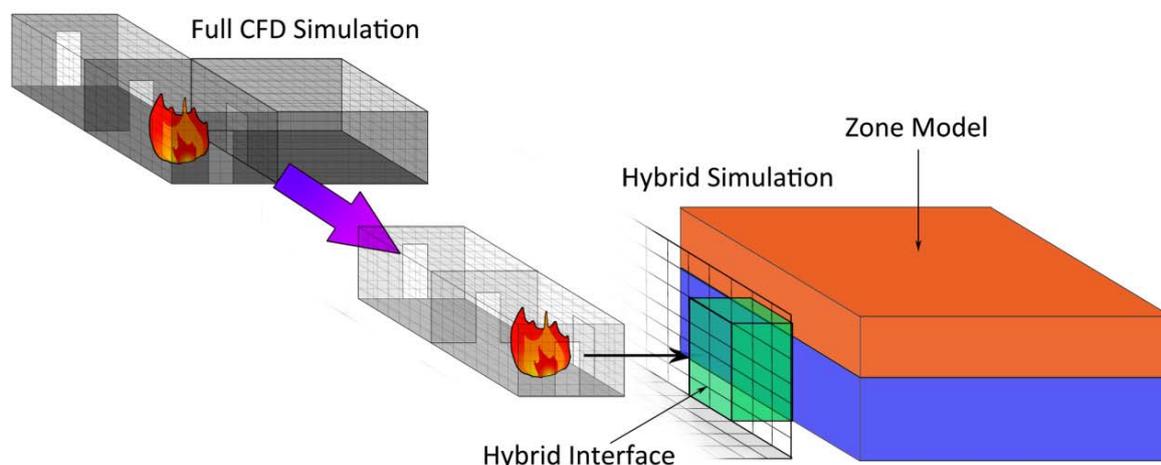
基礎方程式 (マクロモデル)	二層の質量保存式 二層の化学種保存式 二層のエネルギー保存式 状態方程式(理想気体) 開口部に対する運動方程式
時間積分法	完全陰解法
伝熱モデル	対流伝熱モデル 放射伝熱モデル (ガス吸収とすすの影響を考慮)
煙流動モデル	二層ゾーンモデル
換気モデル	圧縮性を考慮した管路モデル (Advance/FrontNet/ $\Gamma$ )
機器コンポーネント	開口部、隙間、ファン
火災室数	制限なし

# 建物内の火災安全・防災のためのシミュレータ Advance/EVE SAYFA

## Advance/EVE SAYFA 2.0とCFAST6.0の機能比較

項目		EVE SAYFA 2.0	CFAST 6.0
建物内ガス流動モデル	隙間モデル	○	○
	垂直・水平開口部モデル	○	○
	2方向流	○	○
	煙突効果	○	○
換気系モデル	熱流体モデル	圧縮性を考慮した管路モデル (Advance/FrontNet/Γを実装)	非圧縮性流体を仮定したモデル
	合流・分岐	○	○
	ダンパ	○	×
	ファン	○ (高送風圧のプロワも可)	○
化学種	O <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub> 、H <sub>2</sub> O、CO、CO <sub>2</sub> 、C(煤)、Fuel	O <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub> 、H <sub>2</sub> O、CO、CO <sub>2</sub> 、C(煤)、Fuel、HCL、HCN	
火災解析モデル	二層ゾーンモデル	二層ゾーンモデル	
放射・対流熱伝達	○	○	
可燃物(家具等)	×	○	
燃焼モデル	混合分率燃焼モデル	混合分率燃焼モデル	
防火設備モデル	防火戸・シャッター	○	×
	消火モデル (スプリンクラー)	○	○
	熱感知器	○	○
シナリオ設定機能	実装	実装	
危険物質輸送計算モデル	実装	×	

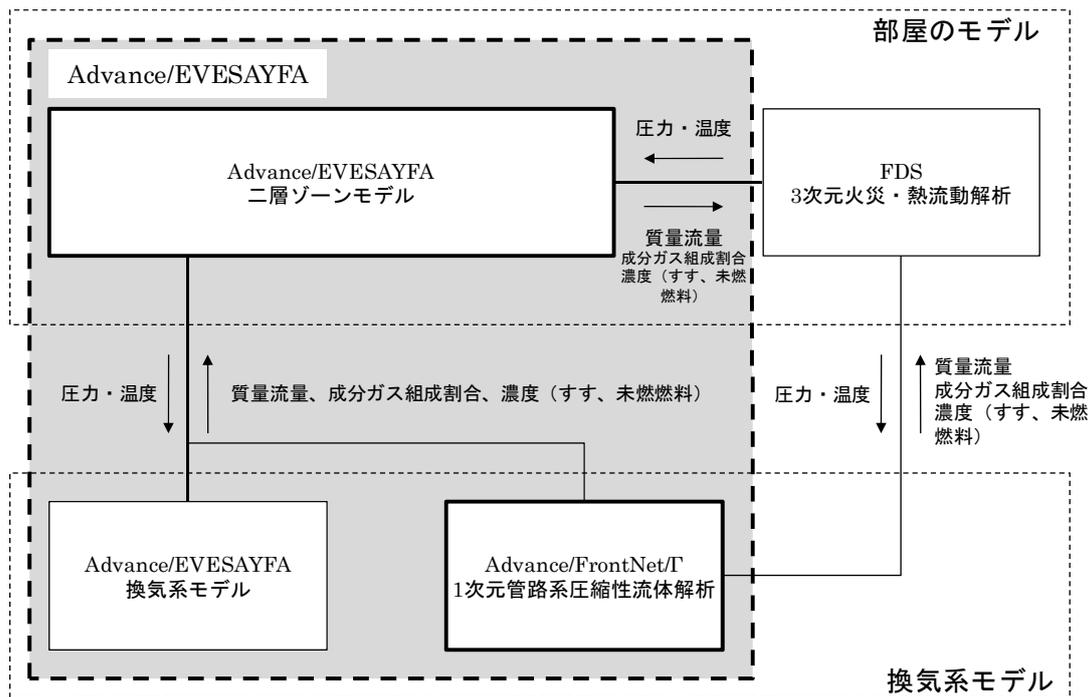
# EVE SAYFAとFDSの連成解析機能



EVE SAYFAとFDSの連成計算の概念図

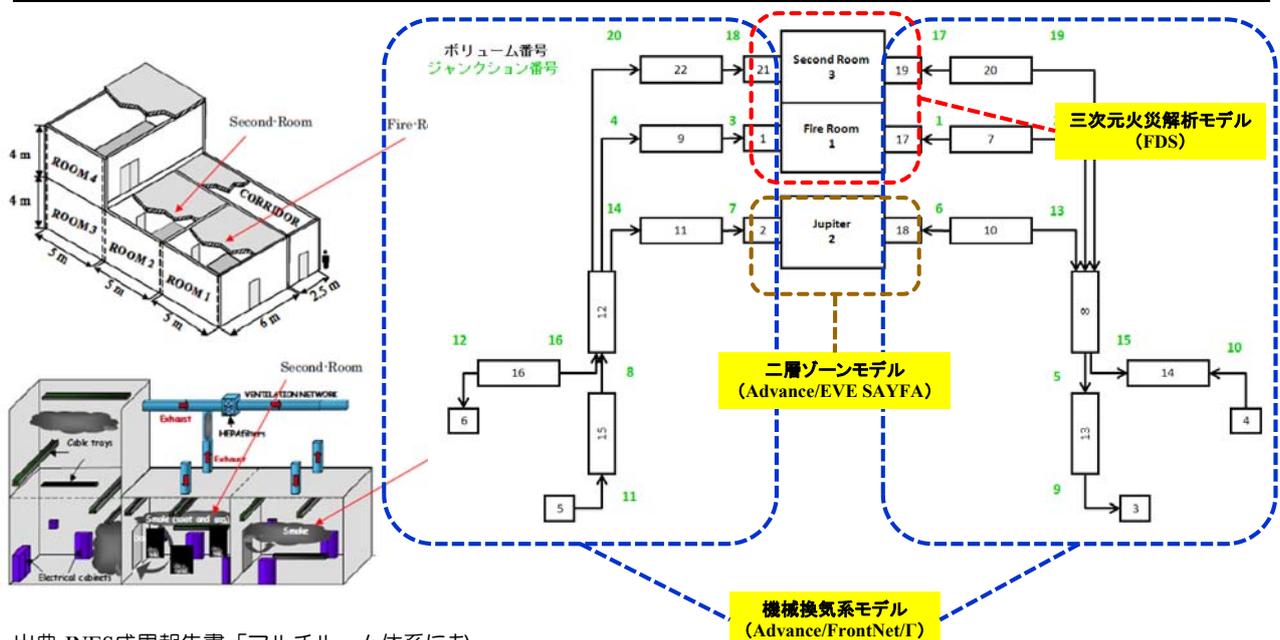
Pauling, R., Grandison, A., "The Development of Modelling Methods and Interface Tools Supporting a Risk Based Approach to Fire Safety in Ship Design", International Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries, Berlin, (2012).

# EVE SAYFAとFDSの連成解析機能



# EVE SAYFAとFDSの連成解析事例

## 原子炉施設火災試験解析(マルチルーム試験解析) Advance/EVE SAYFA&Advance/FrontNet/TとFDSの連成解析

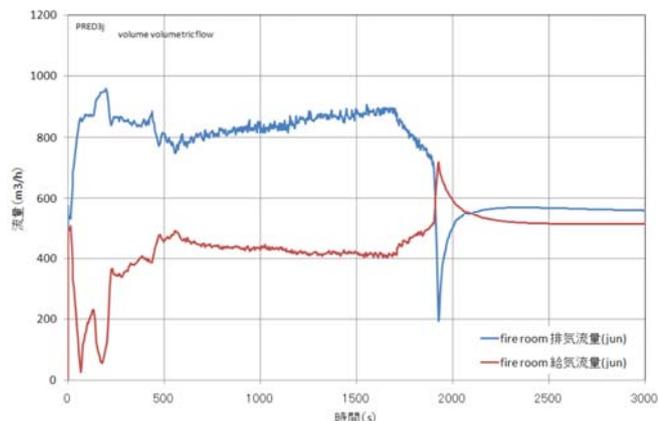


出典:JNES成果報告書「マルチルーム体系における火災伝播解析手法の整備」

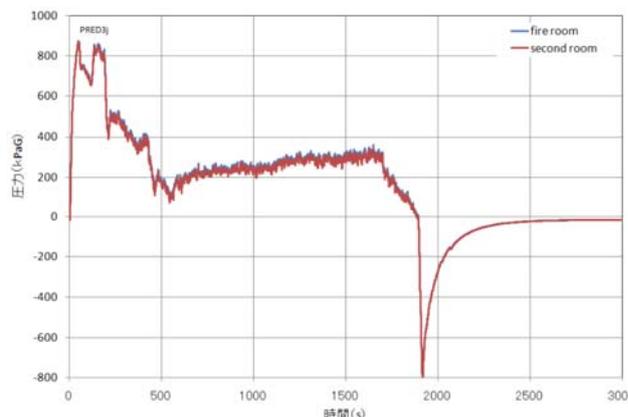
### 火災試験解析モデル(Advance/EVE SAYFA&FDS)

# EVE SAYFAとFDSの連成解析事例

## 原子炉施設火災試験解析(マルチルーム試験解析) Advance/EVE SAYFA&Advance/FrontNet/ΓとFDSの連成解析



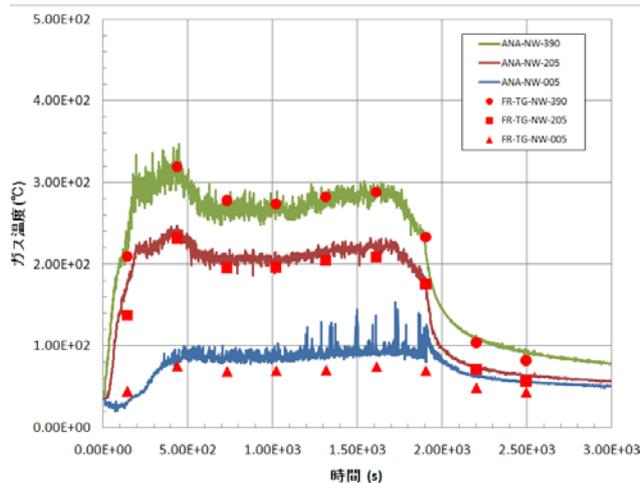
Fire Room給排気流量変化  
(Advance/FrontNet/Γ)



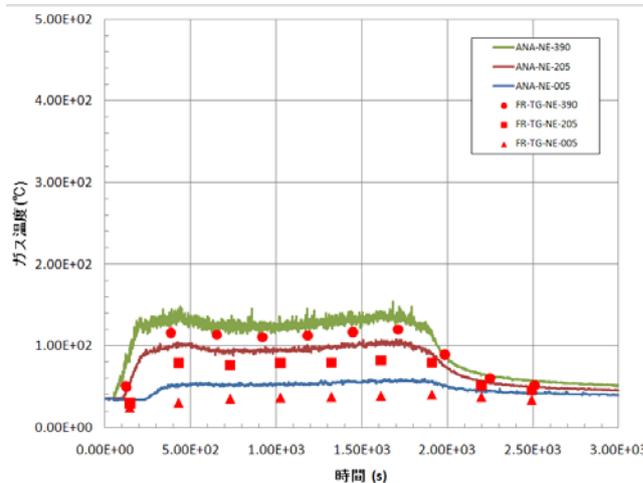
Fire Room/Second Room圧力変化  
(FDS5)

# EVE SAYFAとFDSの連成解析事例

## 原子炉施設火災試験解析(マルチルーム試験解析) Advance/EVE SAYFA&Advance/FrontNet/ΓとFDSの連成解析



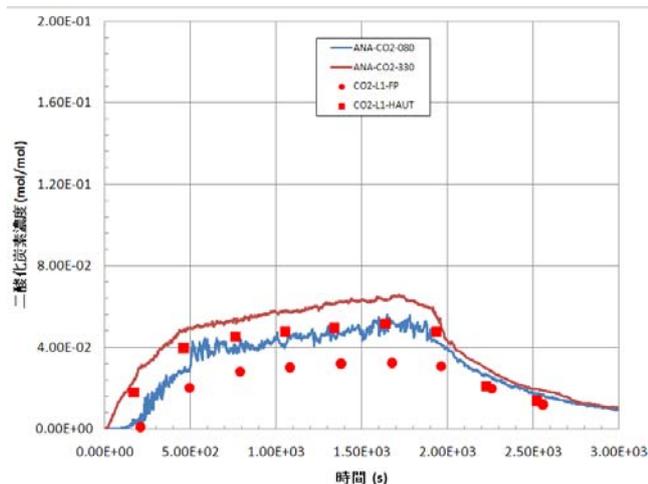
Fire Roomガス温度変化  
(FDS5)



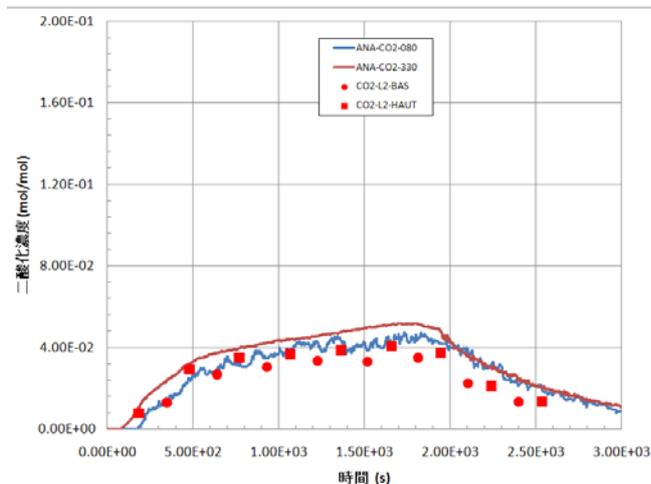
Second Roomガス温度変化  
(FDS5)

# EVE SAYFAとFDSの連成解析事例

## 原子炉施設火災試験解析(マルチルーム試験解析) Advance/EVE SAYFA&Advance/FrontNet/ΓとFDSの連成解析



Fire Room二酸化炭素濃度変化  
(FDS5)



Second Room二酸化炭素濃度変化  
(FDS5)

出典:JNES成果報告書「マルチルーム体系における火災伝播解析手法の整備」

Copyright ©2016 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

21

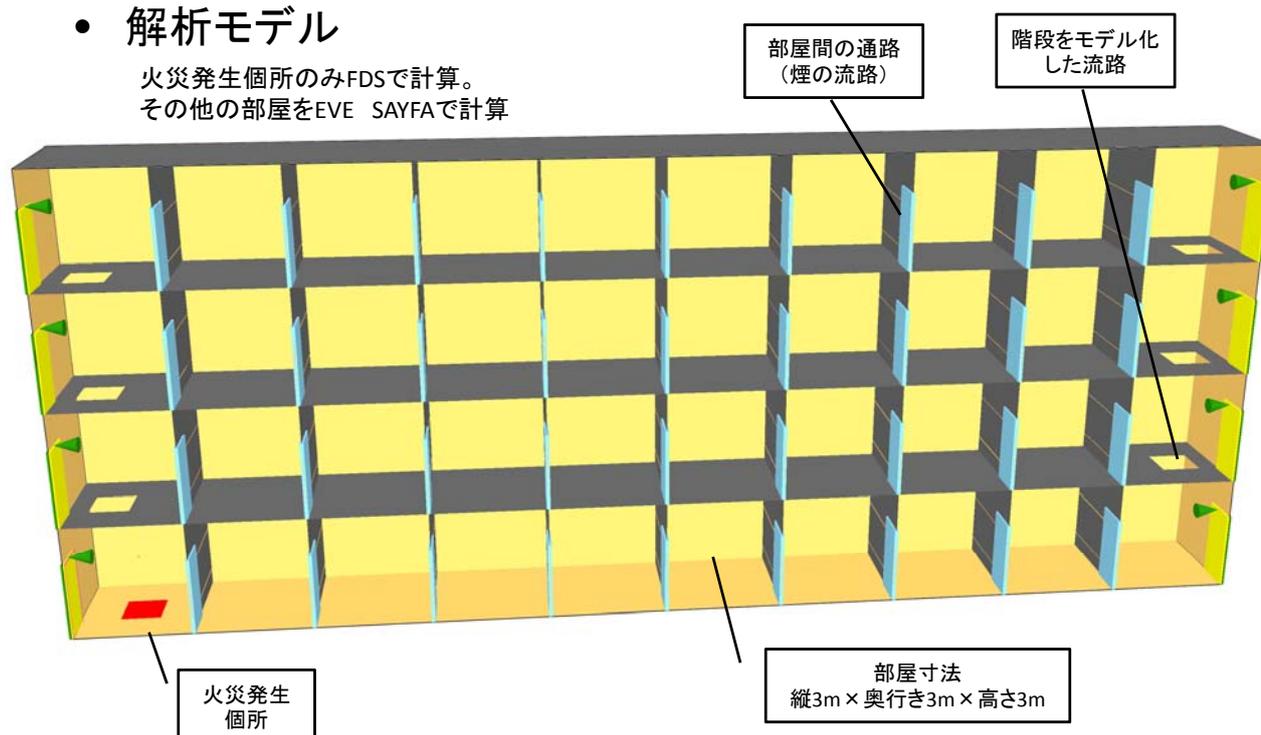
# EVE SAYFAとFDSの連成解析事例

- ビル火災解析事例
  - 4階建て、区画数(部屋数)40
  - ある1室で火災が発生し、階段を通して他の区画に煙が流動
- 連成解析方法
  - 火災が発生した部屋をFDSで解析
  - 他の部屋や通路の煙流動はEVESAYFAで計算

# EVE SAYFAとFDSの連成解析事例

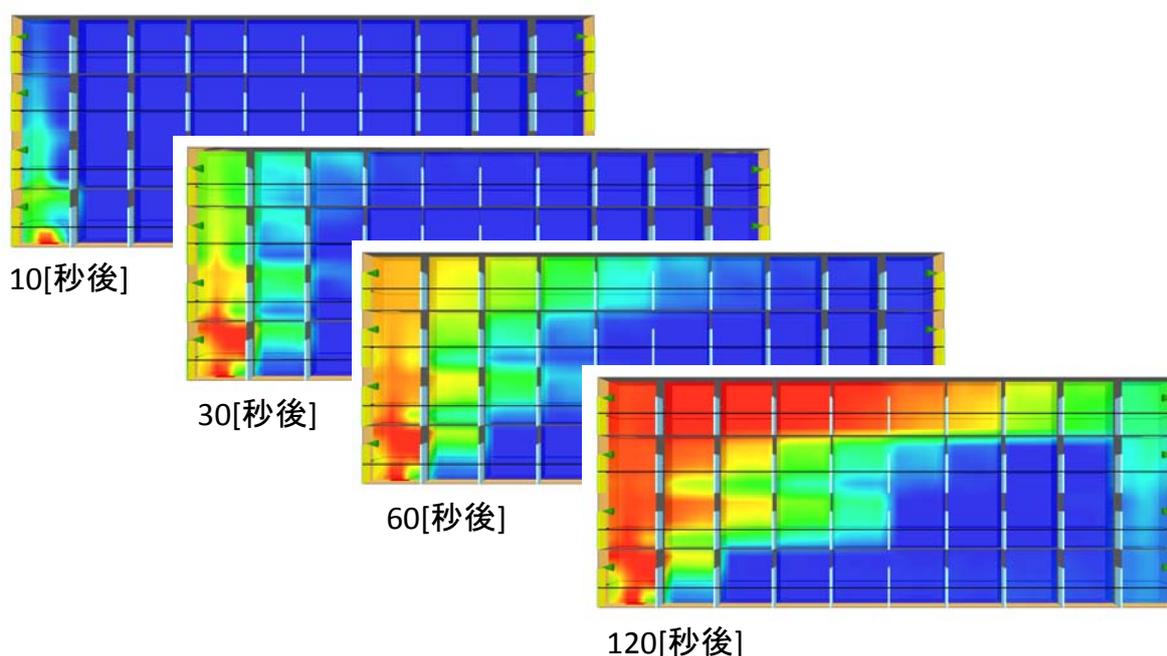
## • 解析モデル

火災発生個所のみFDSで計算。  
その他の部屋をEVE SAYFAで計算



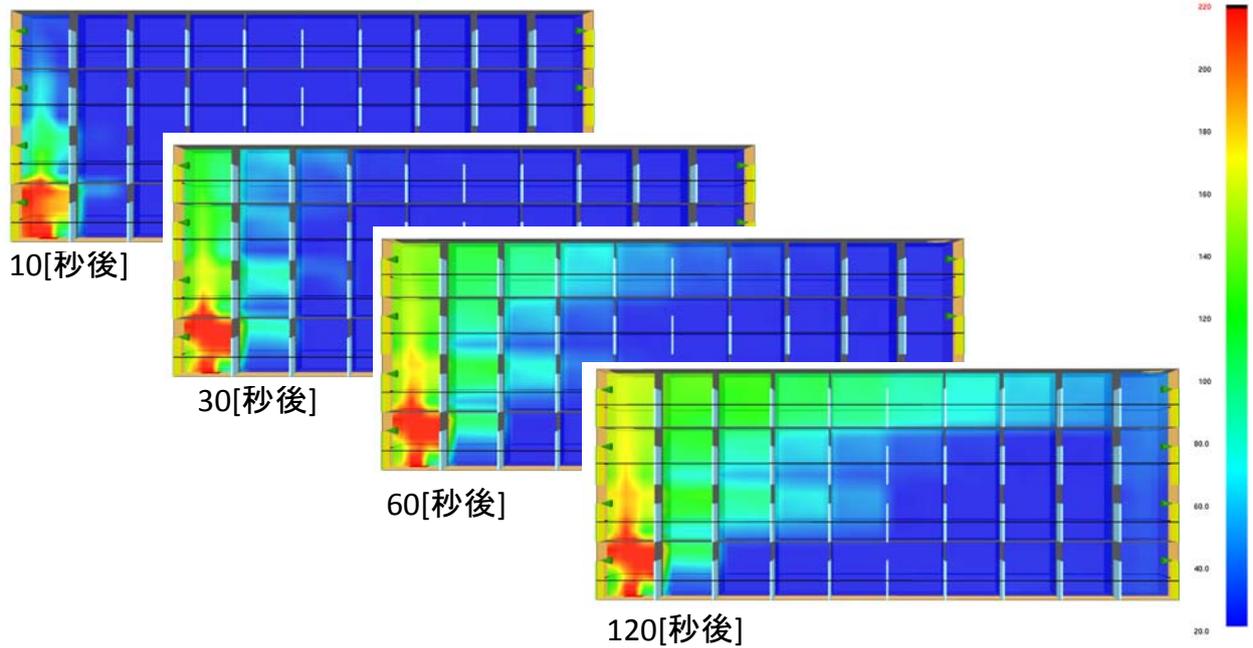
# EVE SAYFAとFDSの連成解析事例

## • 煙濃度分布 (FDSのみ)



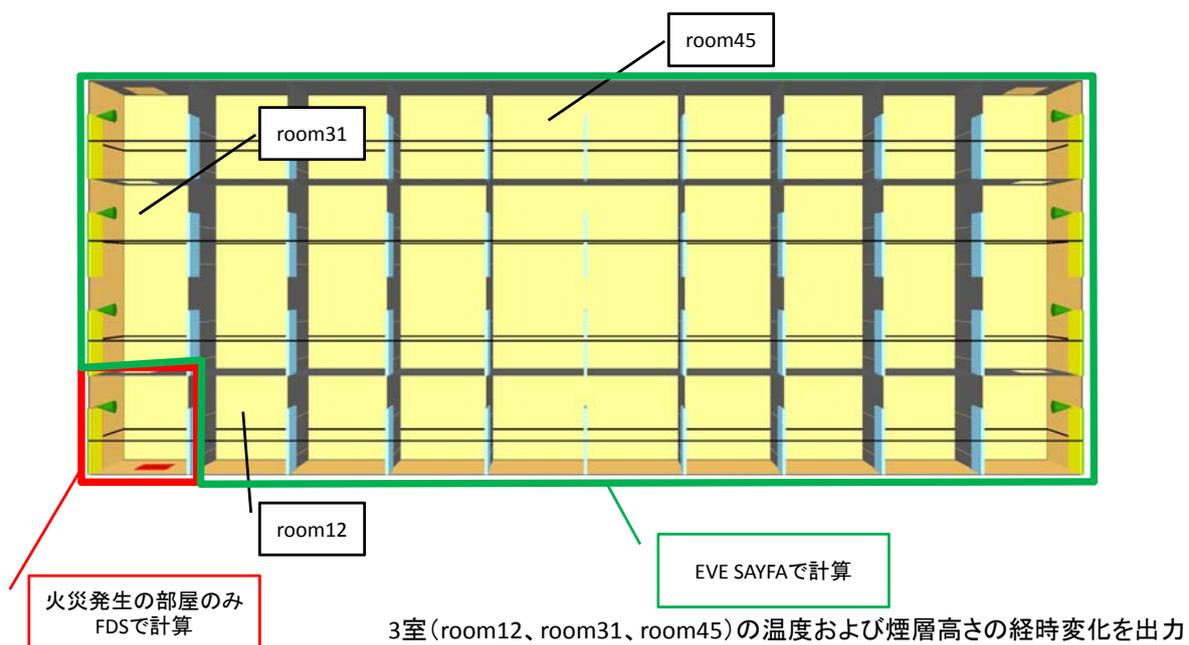
# EVE SAYFAとFDSの連成解析事例

- 温度分布 (FDSのみ)



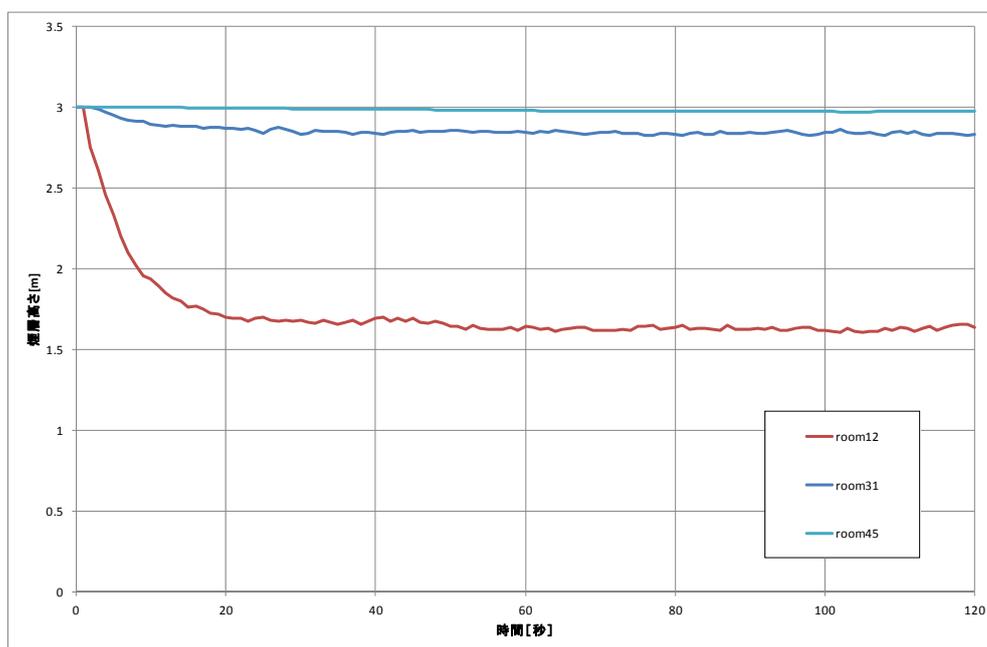
# EVE SAYFAとFDSの連成解析事例

- 連成解析結果



# EVE SAYFAとFDSの連成解析事例

- 煙層高さ



「デジタルエンジニアリングのアドバンスソフト」