

小規模施設内における火災 CFD シミュレーション 出火元の発熱速度モデルによる検討

防火－火災性状

正会員 ○ 中村博一^{*1} 正会員 遠藤裕子^{*1}

火災 CFD 解析 SMARTFIRE 宝塚市カラオケボックス火災

1. はじめに

宝塚市消防本部・報告書¹⁾(以下、報告書)によると、2007(平成19)年1月20日(土)18時30分ごろに、兵庫県宝塚市のカラオケボックス店ビートにおいて火災が発生し大惨事となりました。宝塚市消防本部ではこの火災に関して異例の調査を行い、総務省消防庁・消防研究センターでも出火室の実大火災実験²⁾等を行いました。本報ではこれらの宝塚市カラオケボックス火災情報に基づき、火災 CFD 解析ソフトウェア SMARTFIRE³⁾により、建物内の出火元による熱伝導・煙・ガス流動に着目した検討結果を示します。

2. 火災状況

宝塚市カラオケボックス火災は覚知後約1時間で鎮火され、出火時店内にいた従業員・客の計18人の内、要救助者である7人が覚知後26～38分の間に救出されましたが、2階奥側の室内で発見された3人がCO中毒で死亡、他の5人(重傷1、中等症4)が負傷しました。出火建物は、事務所兼倉庫用途(当初)の鉄骨2階建(建築面積123.57m²、延面積218.14m²)で、この内106.96m²(1階105.96m²、2階1.0m²)が焼損(半焼全損)しました。図1は報告書の建物平面図にこんろ位置を加筆したものです。

出火原因は1階調理場のこんろで、こんろ上の中華鍋から出火し、調理場の天袋戸棚・天井に延焼、火は天井から小屋裏へ回り、波板鋼板の天井に達し、この空間で火流となり、1階全体を燃え下がるように延焼しました。一方、天袋戸棚の火炎は調理場南側の受付カウンター・調理場西側の通路壁面へと拡大し、その後階段から2階ホール入口部まで延焼しましたが、幸にしてここに設けられた垂れ壁により延焼は焼け止まりました。延焼過程で、その経路上にある壁紙等が燃焼し、2次火源となり新たな熱・煙・ガスが発生しました。延焼は1階・2階ホール入口部まででしたが、煙・ガスに関しては、更に

2階ホールへと天井伝いに進み、廊下、各室へと流入しました。建物2階が無窓階であったため、2階の煙濃度は低くなることなく上方から下方へ増加したようです。

出火室に関しては、消防研究センターの実大火災実験²⁾により、点火から約15分で中華鍋内のサラダ油に着火し、実験終盤における最大発熱速度が、約27分後約3.6MW(第2実験)、約34分後約4.0MW(第4実験)という結果が得られています。

以上は抜粋です。詳細は報告書等をご参照ください。

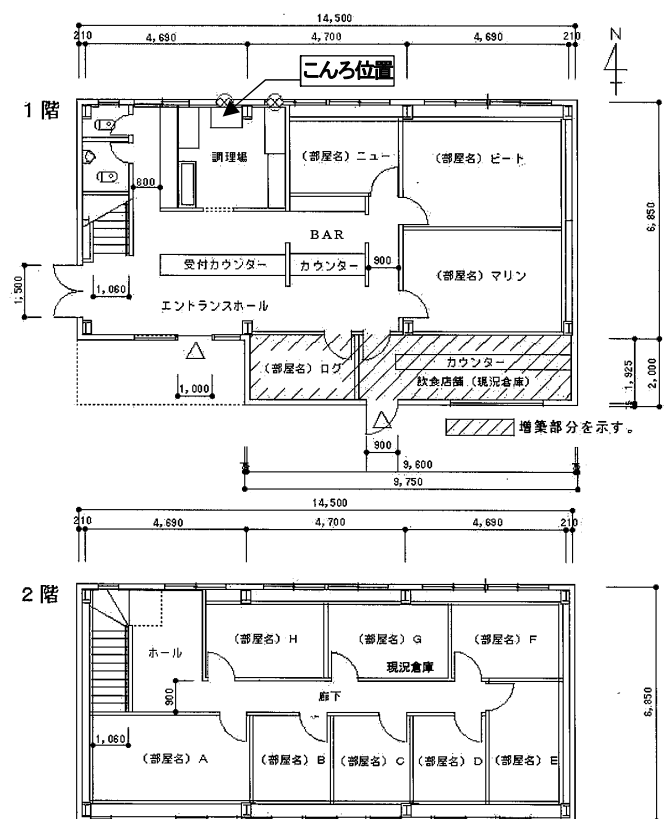


図1 建物平面図(報告書¹⁾の図面の一部加筆)

3. 計算条件

3.1 火災CFD解析

本検討で用いる SMARTFIRE は英国グリニッジ大学・火災安全工学グループで開発された火災の解析に特化し

た CFD 解析ソフトウェアで、実務レベルで、より現実的な火災性状を再現できるよう継続的に改定が行われています。建物内での出火元から発生する熱伝導・煙・ガス流動を解析するため、本検討では乱流モジュールを浮力修正 $k-\epsilon$ モデルに限定の市販版 SMARTFIRE⁴⁾ を用い、多重フラックスモデル(6 方向)による熱放射、煙生成、有毒ガス生成の各モジュールにより、各種火災特性を考慮しました。

3.2 建物・火源モデル

建物形状モデルは、各階高さを 3.0m とし、前記図面の平面寸法通りに作成しました。鉛直寸法が不明、立体形状が複雑なため、延焼影響要因ではありますが、小屋裏空間等は省略しました。離散化モデルは推奨値より多少粗めの 54,694 セル(60×23×40)としました。壁や階段等の材料は初期設定のブロックとしました。空気中の燃焼を考慮しないため内装材等は未設定です。

火源モデルは、前述の消防研究センターによる結果を参照して、発熱速度・すす発生速度を時間の自乗に比例する関数として、燃焼時間 200 秒、最大発熱量 4.0MW、最大すす発生量 5.4g/s、サラダ油の燃焼熱 37.3kJ/g としました。すす発生率は 5% としました。

上記以外に関しては、建物内初期気温を 15°C、解析時間を 1,200 秒、全ドアを開口とし、その他の各種物性・解析パラメータは初期設定値としました。

4. 計算結果

4.1 熱伝導

図 2 および図 3 は、各々出火室である 1 階の調理場中央および 2 階の廊下中心線上における温度の時刻歴と鉛直分布です。図 2(a)より、調理場中央の高さ 1.7m では約 150 秒で 600°C 近くに達するのに対し、高さ 0.5m では約 550 秒以後温度が上昇開始し約 700 秒で 600°C 前後に上昇します。両高さともに以後解析終了まで 600°C 前後です。図 2(b)より、調理場中央では上側の温度が出火直後から上昇し、天井付近では約 150 秒以後に 900°C 近くに達します。前述のように、消防研究センターでは調理場を想定した出火室における実大実験を行っており、その結果と比較すると、出火室において、室上方が先に、続いて室下方が高温になる傾向、室上方の温度が最大で 900°C 近くに達する現象が、実大実験による結果と整合します。

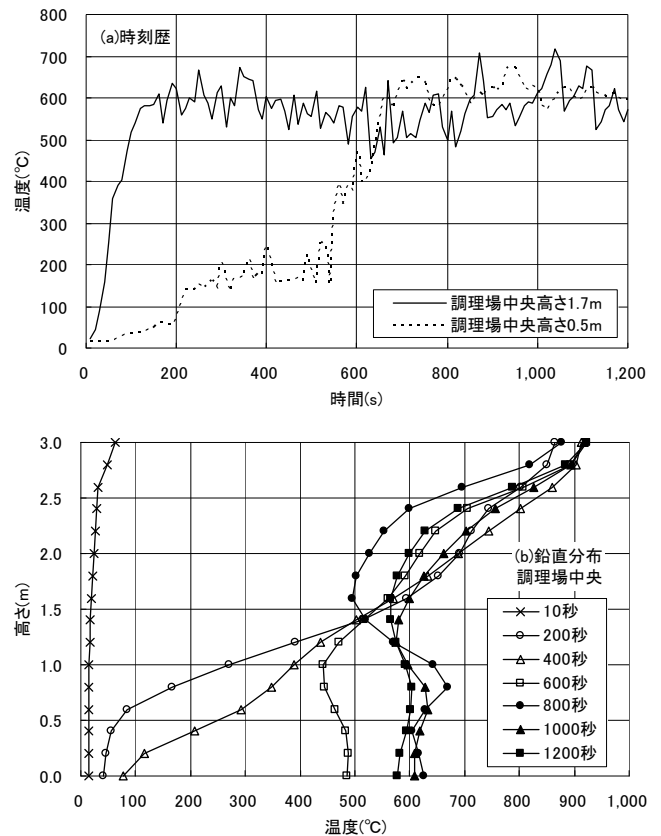


図 2 1 階調理場中央における温度(a)時刻歴(b)鉛直分布

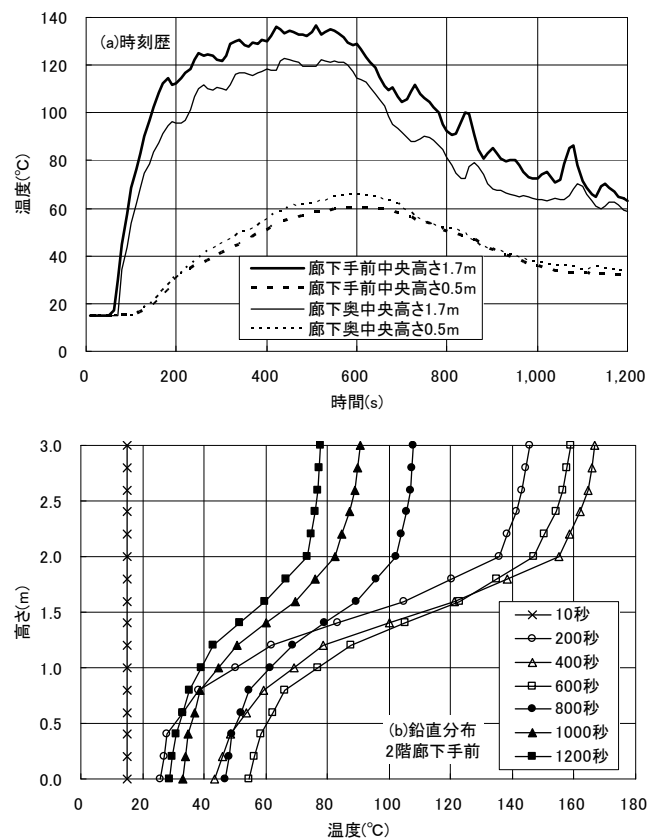


図 3 2 階廊下中心線上における温度(a)時刻歴(b)鉛直分布

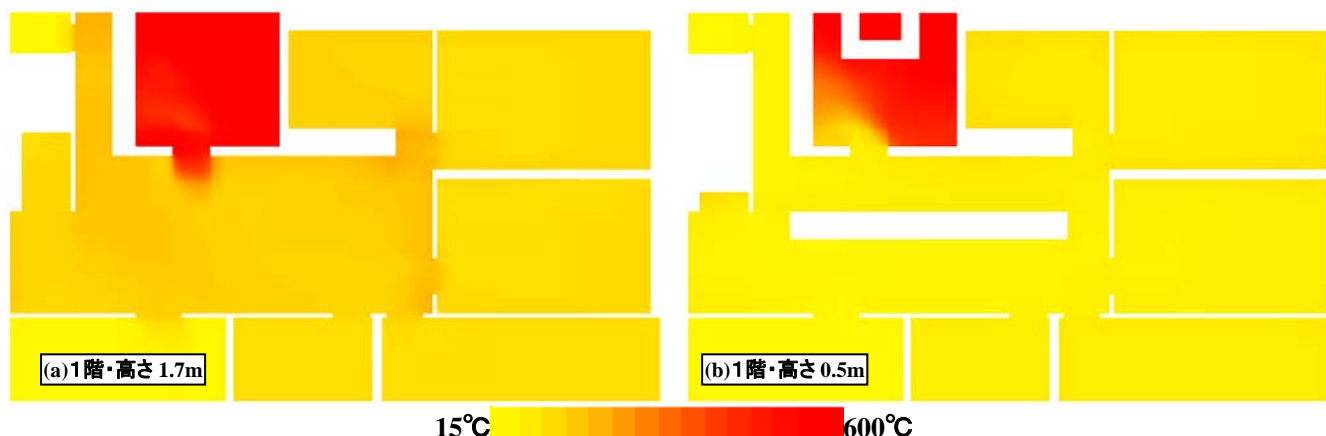


図4 1階における時刻600秒での温度分布

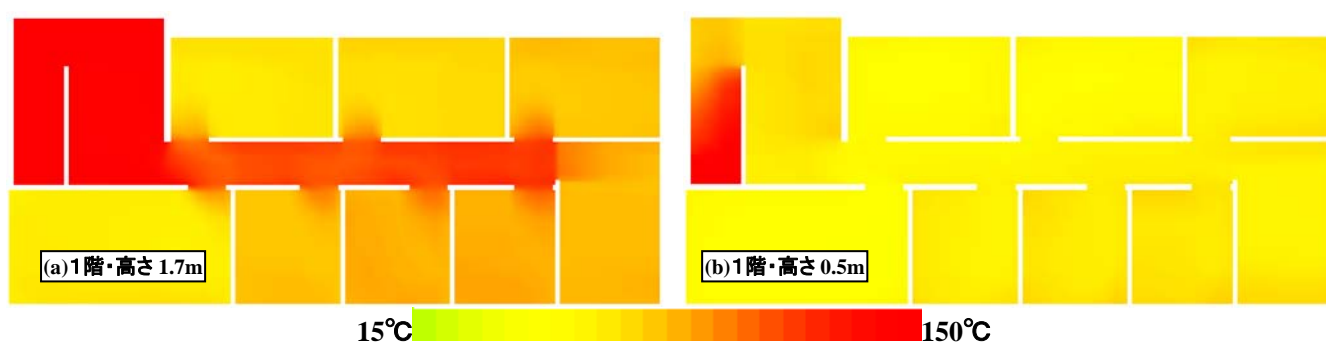


図5 2階における時刻600秒での温度分布

2階の廊下における手前と奥の温度に関しては、図3(a)より、高さ1.7mで約500秒、高さ0.5mで約600秒の時に、温度が最大となり、その後両温度はともに解析終了まで徐々に低下します。廊下の手前と奥の温度を比較すると、高さ1.7mでは手前より奥が約13%低く、高さ0.5mでは逆に手前より奥が約5%高くなります。図3(b)は、温度の鉛直分布に関する廊下の手前だけの結果ですが、各時刻における鉛直方向の温度変化は同位相です。

図4および図5は各々1階および2階における時刻600秒における水平方向の温度分布で、各図の(a)および(b)は高さが各々1.7mおよび0.5mのものです。図4の温度範囲は15~600°Cで、1階1.7mの温度分布図より、調理場からエントランスホールへは600秒で熱が伝わりますが、0.5mではまだです。一方、図5の温度範囲は15~150°Cで、2階1.7mの温度分布図より、廊下から各室へは600秒で熱が伝わりますが、0.5mではまだです。

4.2 煙・ガス流動

図6は、2階の廊下中心線上におけるCO、O₂、煙の各気中濃度です。CO濃度は、図6(a)より、高さ1.7mで約500秒、高さ0.5mで約600秒から廊下の手前と奥がとも

に増加し始め、解析終了時にCO濃度は、高さ1.7mで約5%前後、高さ0.5mで約5%弱になります。600~1000秒における廊下の手前と奥のCO濃度を比較すると、高さ1.7mでは手前より奥が約0.5%低く、高さ0.5mでは逆に手前より奥が約0.2%高くなります。一方、O₂濃度は、図6(b)より、廊下の手前と奥とではほぼ一致し、高さ1.7mで100秒前、高さ0.5mで200秒後位からともに低下し始め、1,000秒程度でゼロになります。

煙濃度は、図6(c)より、高さ1.7mで約200秒、高さ0.5mで約300秒から廊下の手前と奥がともに増加し始め、解析終了時に煙濃度は全てで約23%前後になります。600~1000秒における廊下の手前と奥の煙濃度を比較すると、高さ1.7mでは手前より奥が約1.1%低く、高さ0.5mでは逆に手前より奥が約0.5%高くなります。

図7は600秒と1,200秒において2階廊下の手前地点を起終点とした流線を2階の床面に投影したものです。流線の起終点は高さ0~3mにおける鉛直方向の離散点です。床面での温度分布は前記の2階における温度分布の凡例に従います。図より、煙・ガス流動は、手前側の室よりも奥側の室で多いことがわかります。

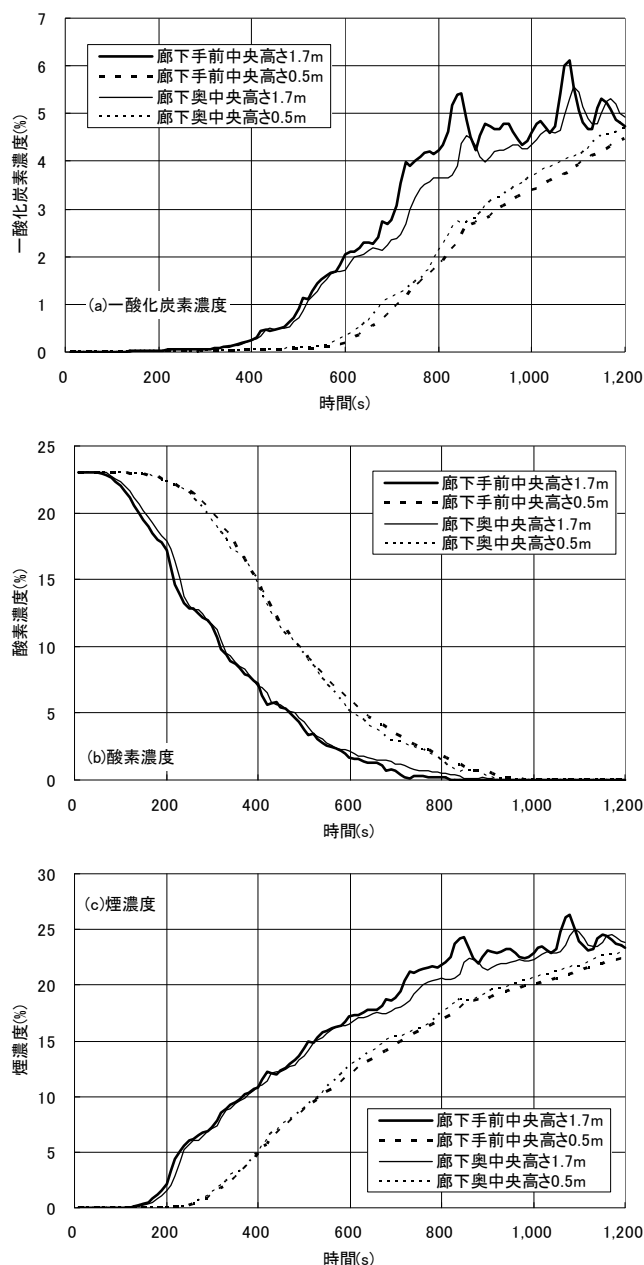


図6 2階廊下中心線上における気中濃度(a)CO(b)O₂(c)煙

以上の結果から、鉛直方向を考慮した流線動向、報告書でのドアの気密性に関しては今後の検討課題ですが、熱伝導・煙流動に関しては、煙・ガスが手前側の室には流入しにくく、奥側の室には流入しやすいという現象を再現できていおり、この結果は、手前側の室内で発見された人が負傷となり、奥側の室内で発見された人が死亡となった理由付けに利用可能であると思われます。

5. まとめ

火災 CFD 解析が、実務レベルで、より現実的な火災性状を再現できる可能性を示すことができたと思います。

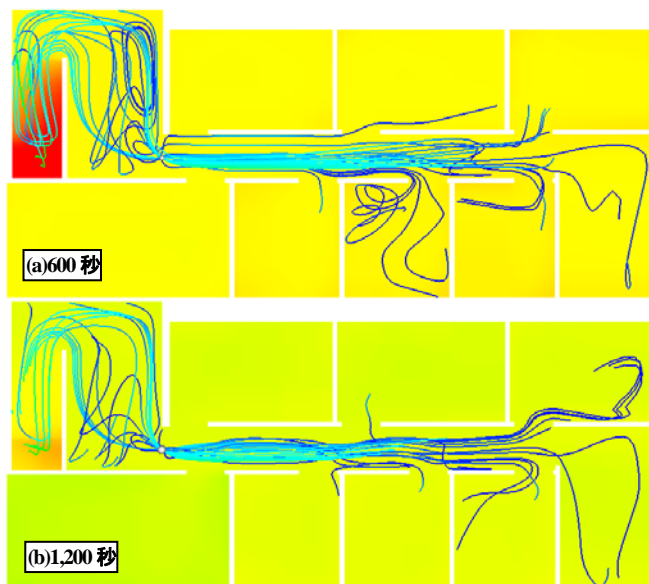


図7 2階廊下手前鉛直各点からの流線(a)600秒(b)1,200秒

本検討では、出火室である調理場での熱伝導、無窓階である2階での熱伝導・煙・ガス流動のみでしたが、火災をより現実的に再現するためには、今後も以下の検討課題等に対応し、火災CFDシミュレーション検討事例等を報告していきます。

- ・ 延焼拡大への影響要因である小屋裏空間容積量
- ・ 壁面等の燃焼による2次火源(気体燃焼モジュール)

謝辞

本検討に当たり、火災CFDソフトウェア SMARTFIREの開発元である英国グリニッジ大学・火災安全工学グループの支援を受けました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 宝塚市消防本部: 宝塚市カラオケボックス建物火災報告書, 48p., 2008.
- 2) 予防行政のあり方に関する検討会: 「宝塚市カラオケボックス店火災」を模擬した実大火災実験の概要, 予防行政のあり方について (中間報告) 資料2-4, 総務省消防庁予防課, 2007.
- 3) J. Ewer, F. Jia, A. Grandison, I. Frost, E. Galea and M. Patel: User Guide for the SMARTFIRE Environment, SMARTFIRE V4.1, Fire Safety Engineering Group, University of Greenwich, UK, 2008.
- 4) EXODUS – SMARTFIRE:
<http://www.forum8.co.jp/product/shokai/ex-sf.htm>, 2009.

*1 (株)フォーラムエイト