

国土交通省殿

旅客船内における換気効果に関する
数値シミュレーション調査事業

調査報告書

2021年3月

目 次

1. 目的	1
2. 業務内容	2
2.1. シミュレーションモデルの作成	2
2.2. コンピュータを用いた換気量等のシミュレーション	2
2.3. 換気効果への影響の整理	3
2.4. 成果物	3
3. シミュレーション	4
3.1. シミュレーションモデル	4
3.1.1. ケース 1 (8m×12m)	4
3.1.2. ケース 2 (16m×12m)	8
3.2. シミュレーション結果	12
3.2.1. ケース 1 (8m×12m)	13
3.2.2. ケース 2 (16m×12m)	28
4. まとめ	43
4.1. 濃度分布の時間変化	43
4.2. 換気効果への影響	43

1. 目的

バス、鉄道、旅客船等の公共交通機関は、コロナ禍・ポストコロナ社会においても地域の生活や経済活動を支えるために機能の確保を求められており、利用者の新型コロナウイルスへの感染リスク回避を考慮しつつ、運行を継続する必要があるところ、感染拡大防止策として、窓開け等による換気が効果的とされている。一方で、広い客席を持つ旅客船内においては、空調設備が果たす役割は大きいとされているが、その換気効果に関する定量的な知見はなく、感染拡大防止対策として十分な効果が得られるか不明瞭な部分がある。

そこで、旅客船内における換気効果についてシミュレーションを行い、空調設備による換気量等の定量的な試算を実施し、効果的な換気促進方法の検討の基礎とする。

インバウンドを含む旅客船利用者数が減少しているなか、利用者の回復に向けて、旅客船の利用による新型コロナウイルス感染の不安を取り除くことが重要であるところ、本調査結果は利用者が船内における新型コロナウイルス感染リスクを考える際の参考として、また、航路事業者の感染防止対策実施にあたっての一助となると考える。

2. 業務内容

コンピュータを用い旅客船内における換気効果に関する数値シミュレーションを実施し、換気効果への影響の調査を行う。

2.1. シミュレーションモデルの作成

中小型の旅客船（フェリー）における二等客室などの大人数が利用する客室モデルを2ケース作成する。なお、詳細な客室の規模、空調装置の数、スペックなどの情報は発注者よりご提供頂いたものを利用する。

【共通条件】

- 総トン数 400トン～2,999トンのカーフェリー
- 定員 400名
- 客室内は椅子席
- シミュレーションは客室、椅子及び乗客を対象とする。
- 客室は直方体とし、細かな曲線は用いない。
- 乗客の人体モデルは障害物として扱う。呼吸による換気量への影響は考慮しない。
- 換気量は換気回数が5回/hとなるように設定する。

客室の種類は2種類を対象とする。

表 2-1 客室種別

種別	諸元
ケース1	縦12m、横8m、高さ2.5m、椅子54脚
ケース2	縦12m、横16m、高さ2.5m、椅子108脚

2.2. コンピュータを用いた換気量等のシミュレーション

作成したモデルについて、乗船率別（0%、50%、100%）にシミュレーションを実施し、以下の項目について確認する。

- 空気が完全に入れ替わるまでの時間 ※単位：分
- 換気量（全体換気量・一人当たりの換気量） ※単位：m³/h

シミュレーションにおいては、換気前空気の流入空気に対する濃度分布の変化を示したアニメーションを作成する。（濃度が減少＝換気が進んでいると整理する。）

2.3. 換気効果への影響の整理

シミュレーション結果に基づき、モデルケース別・乗船率別に、新型コロナウイルスの感染リスクについて指標を用いて定量的に整理を行う。評価指標については、発注者と協議の上決定する。

2.4. 成果物

成果物の一覧を下記に示す。

- 旅客船内における換気効果に関する数値シミュレーション調査報告書：5部
- 上記の報告書及び調査データに関する電子媒体：1部（DVD-R）

3. シミュレーション

3.1. シミュレーションモデル

計算に用いたシミュレーションモデルと換気条件を以下に示す。

3.1.1. ケース 1 (8m×12m)

客室の大きさが横 8m、縦 12m の場合の計算モデルを下記に示す。

(1) 乗船率 0%

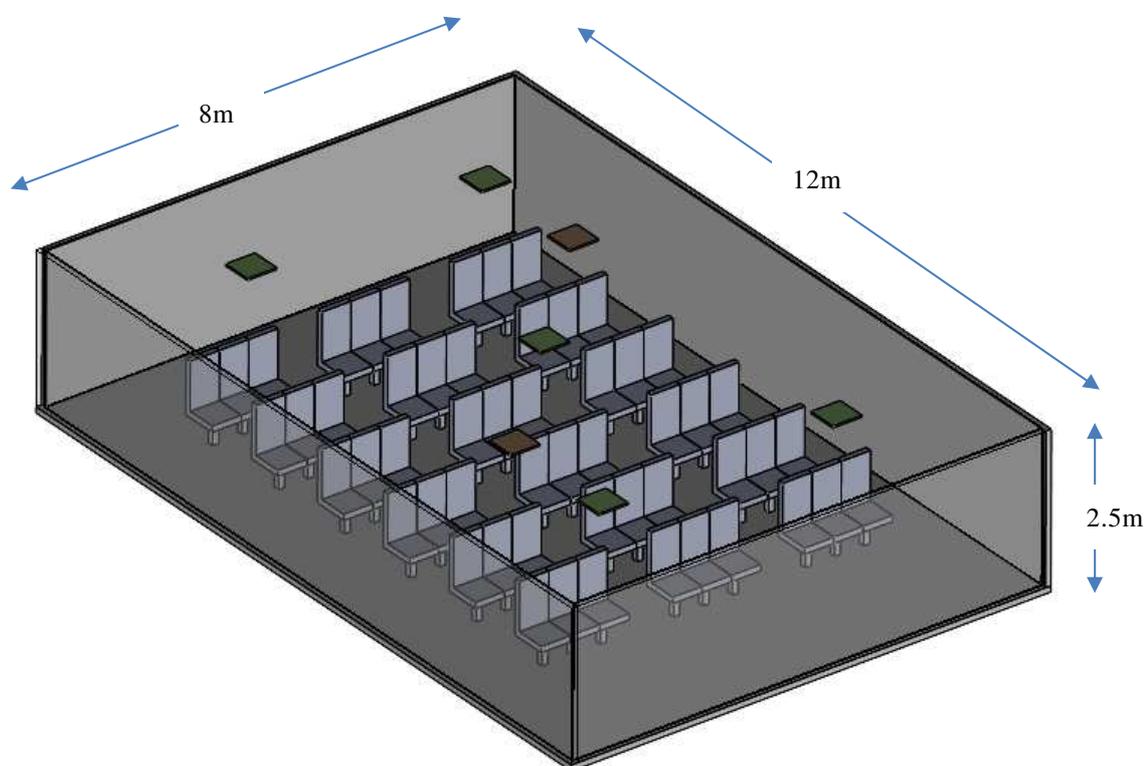


図 3-1 乗船率 0%の計算モデル

下図に換気条件を示す。

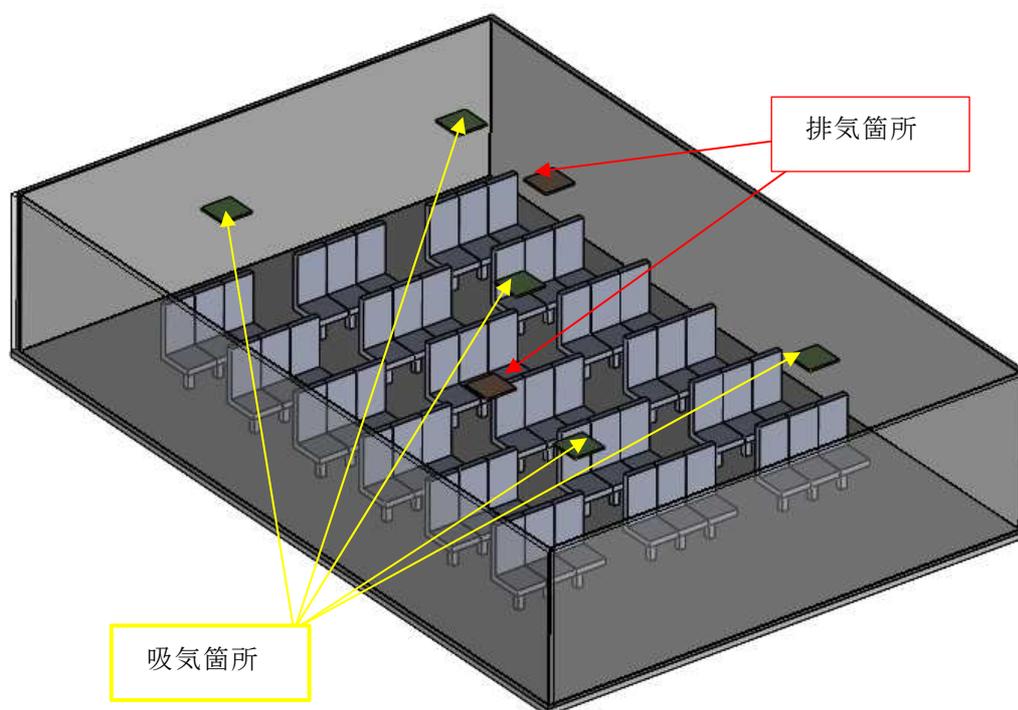


図 3-2 吸排気条件

換気量は、下記の条件で決定した。

客室体積： $12\text{m} \times 8\text{m} \times 2.5\text{m} = 240 \text{ m}^3$

換気回数：5 回/h

換気流量： $240 \text{ m}^3 \times 5 \text{ 回/h} = 1200 \text{ m}^3/\text{h}$

温度条件：一定（考慮しない）

(2) 乗船率 50%

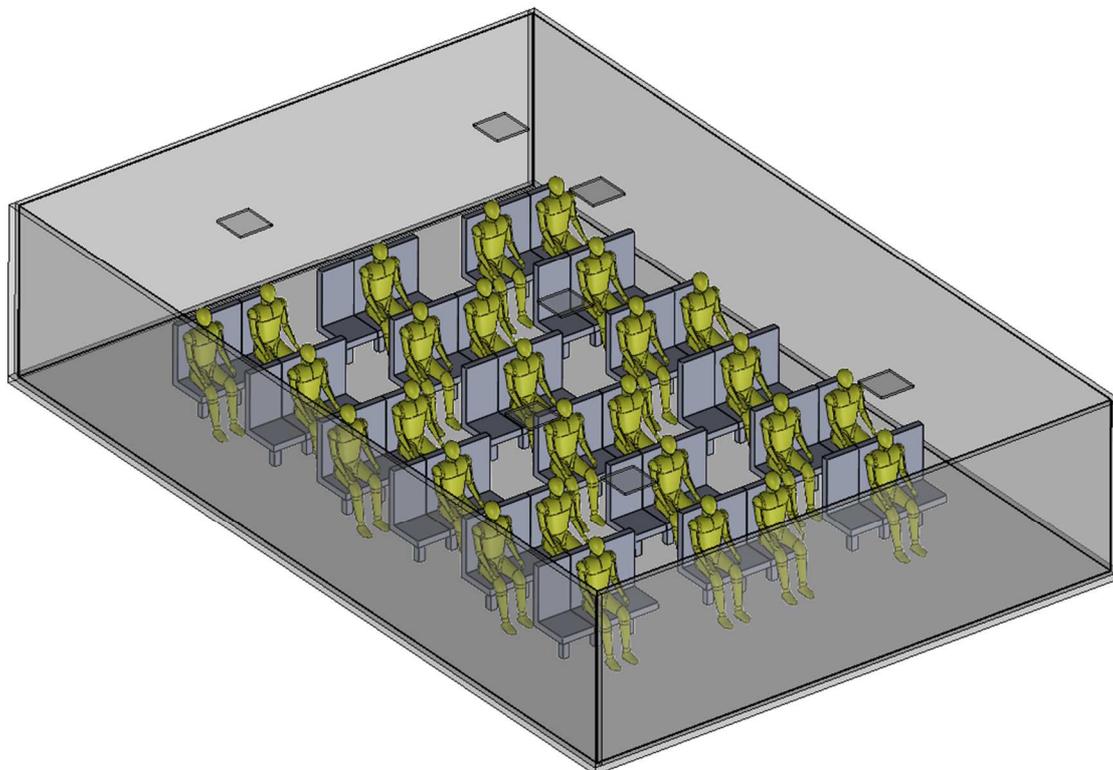


図 3-3 乗船率 50%の計算モデル

換気条件は、乗船率 0%の場合と同じ条件を設定した。

(3) 乗船率 100%

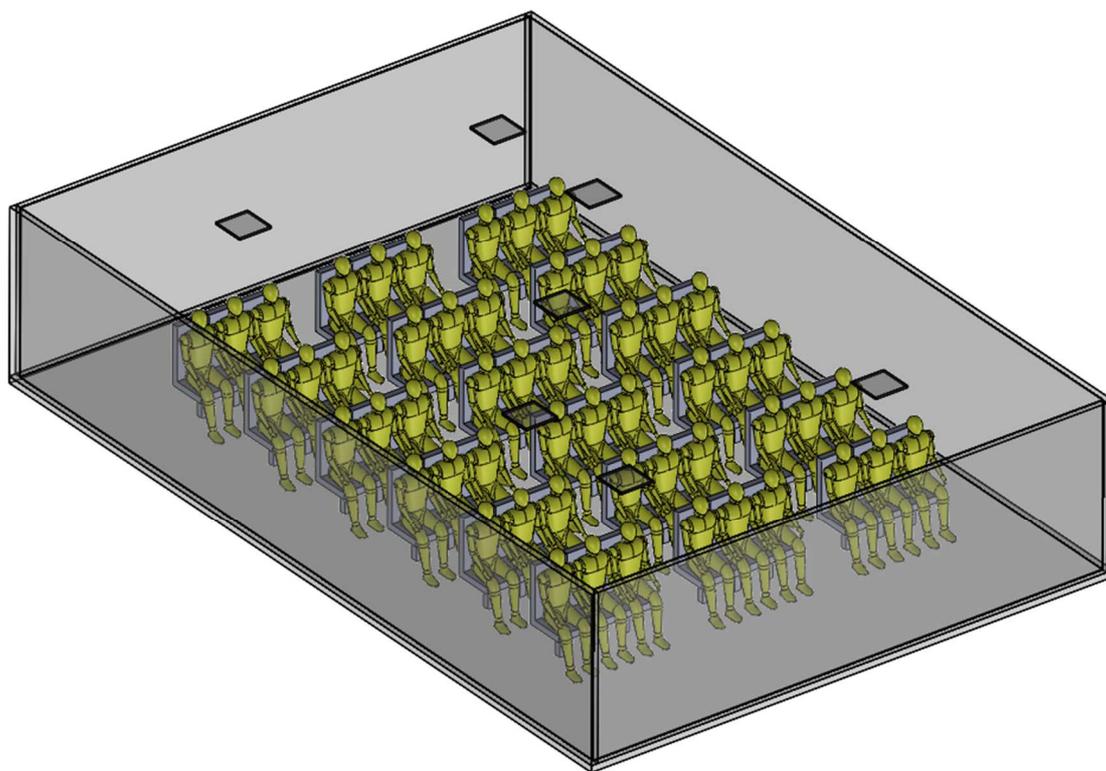


図 3-4 乗船率 100%の計算モデル

換気条件は、乗船率 0%の場合と同じ条件を設定した。

3.1.2. ケース 2 (16m×12m)

客室の大きさを横 16m、縦 12m に変更した場合の計算モデルを下記に示す。

(1) 乗船率 0%

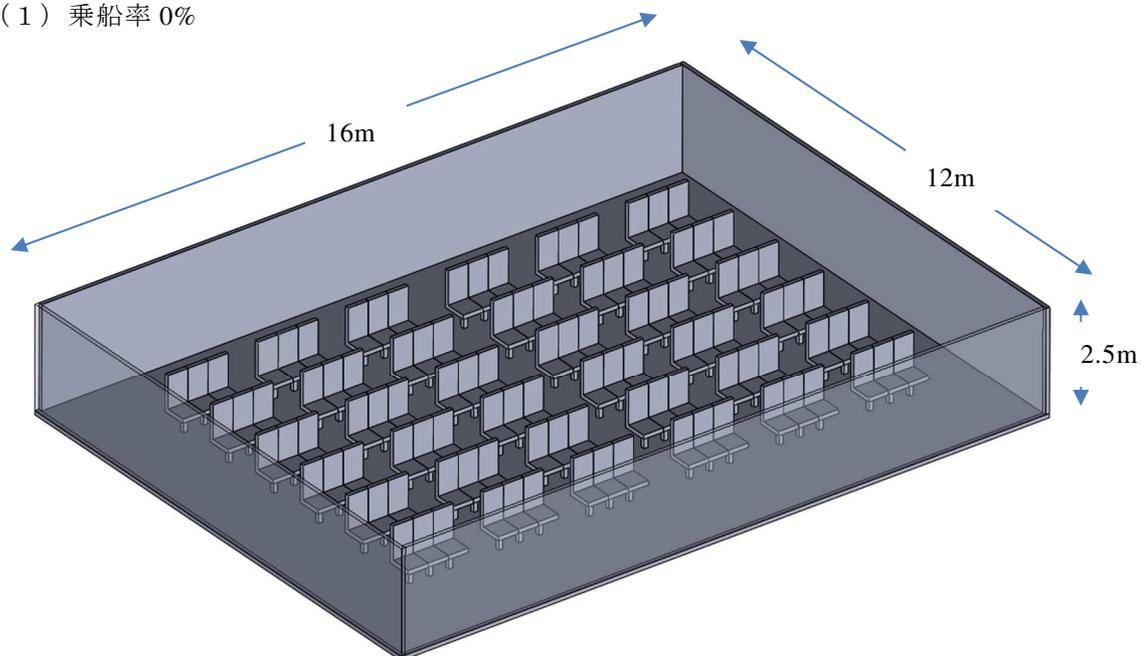


図 3-5 計算モデル

下図に換気条件を示す。

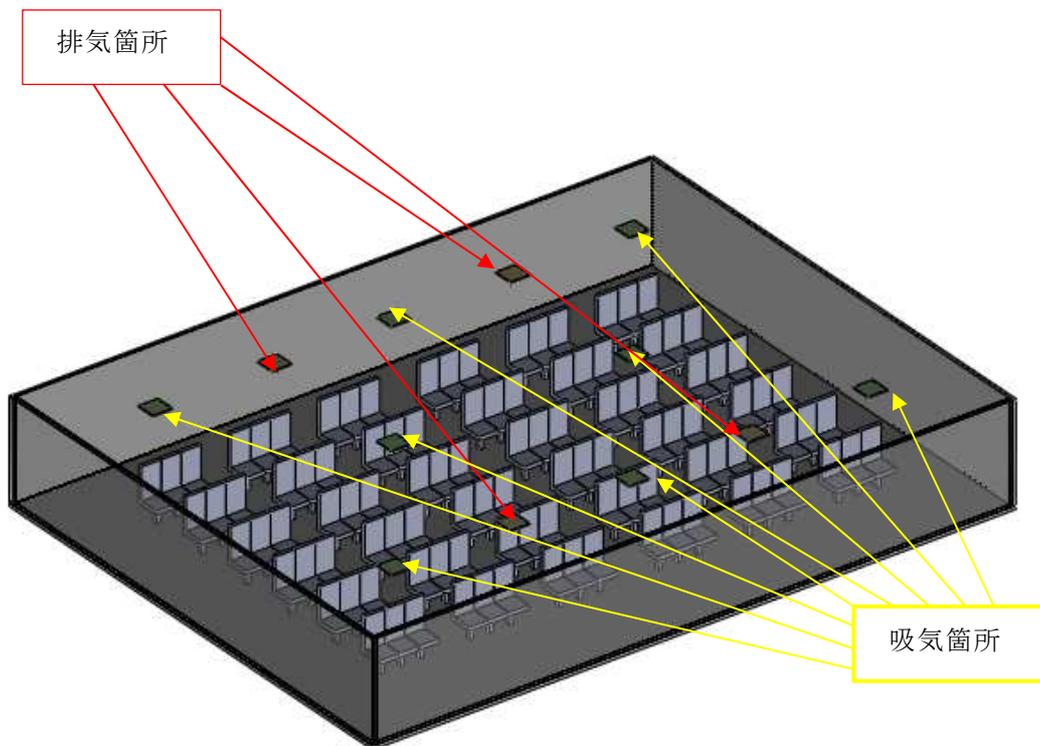


図 3-6 吸排気条件

換気量は、下記の条件で決定した。

客室体積： $12\text{m} \times 16\text{m} \times 2.5\text{m} = 480 \text{ m}^3$

換気回数：5 回/h

換気流量： $480 \text{ m}^3 \times 5 \text{ 回/h} = 2400 \text{ m}^3/\text{h}$

温度条件：一定（考慮しない）

(2) 乗船率 50%

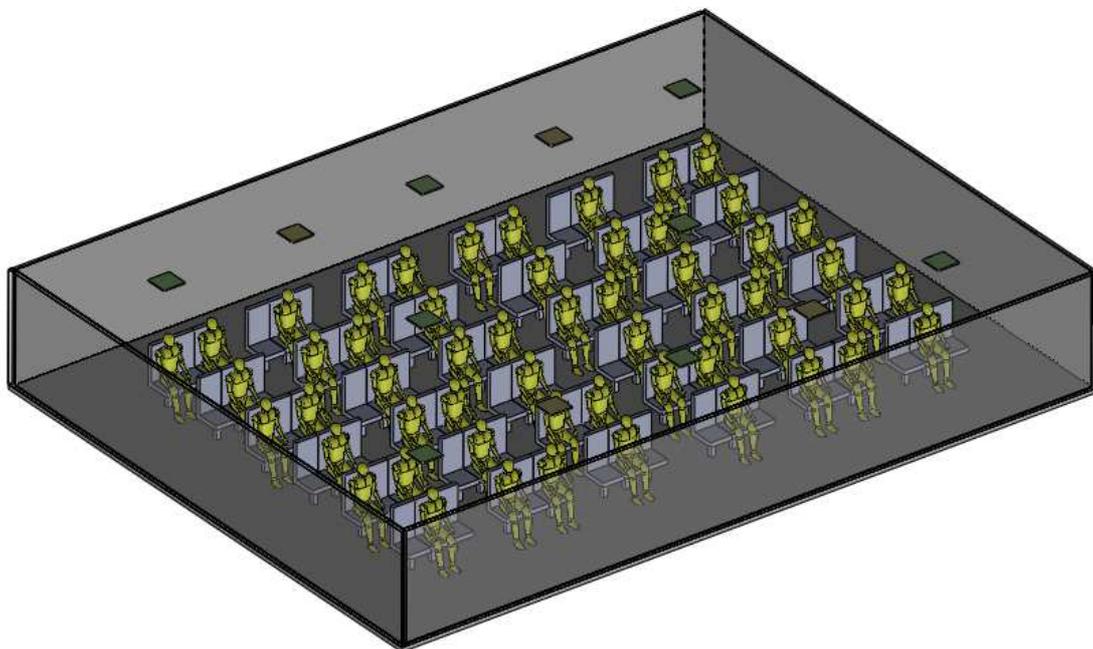


図 3-7 乗船率 50%の計算モデル

換気条件は、乗船率 0%の場合と同じ条件を設定した。

(3) 乗船率 100%

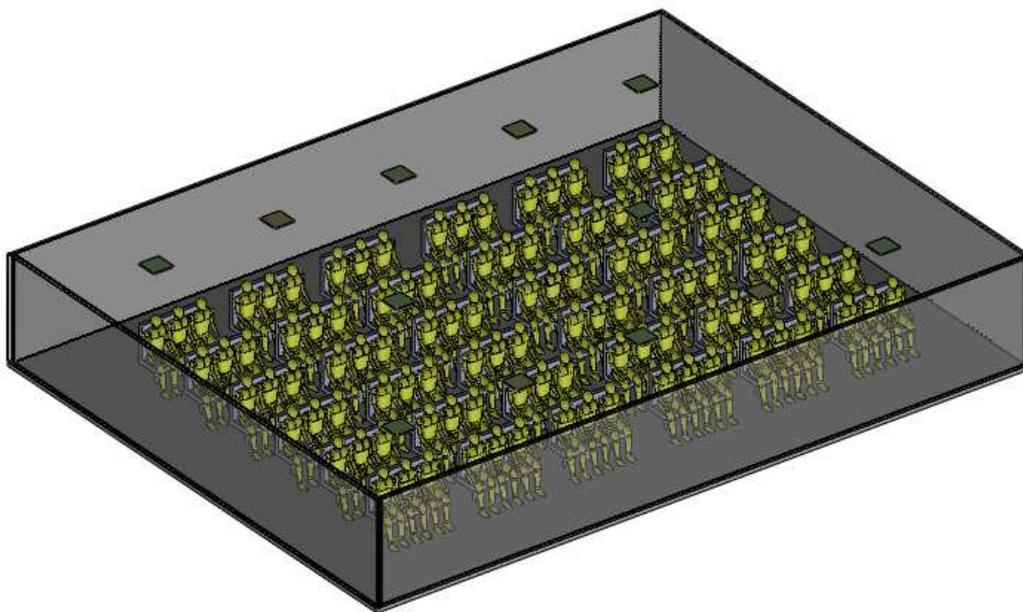


図 3-8 乗船率 100%の計算モデル

換気条件は、乗船率 0%の場合と同じ条件を設定した。

3.2. シミュレーション結果

以下に2種類の客室で計算した濃度分布の結果を示す。濃度分布は代表断面と等値面表示で示した。

(1) 濃度の定義

初期状態の各船内濃度を1.0とし、客室に流入する外気の濃度を0.0として計算している。客室内の濃度が1.0から徐々に減少し、0.0になれば完全に外気に入れ替わる事になる。

(2) 代表断面濃度分布表示

客船内の濃度変化を表現するために、客船の縦断面、横断面と壁、床の濃度分布を作図している。

(3) 等値面濃度表示

客船内の3次元的な濃度を表現するために、濃度の等値面も作図した。等値面とは、平面地図の等高線と同様の考え方を3次元空間で表現したものであり、同一の濃度を面として表現したものである。

3.2.1. ケース 1 (8m×12m)

(1) 乗船率 0%

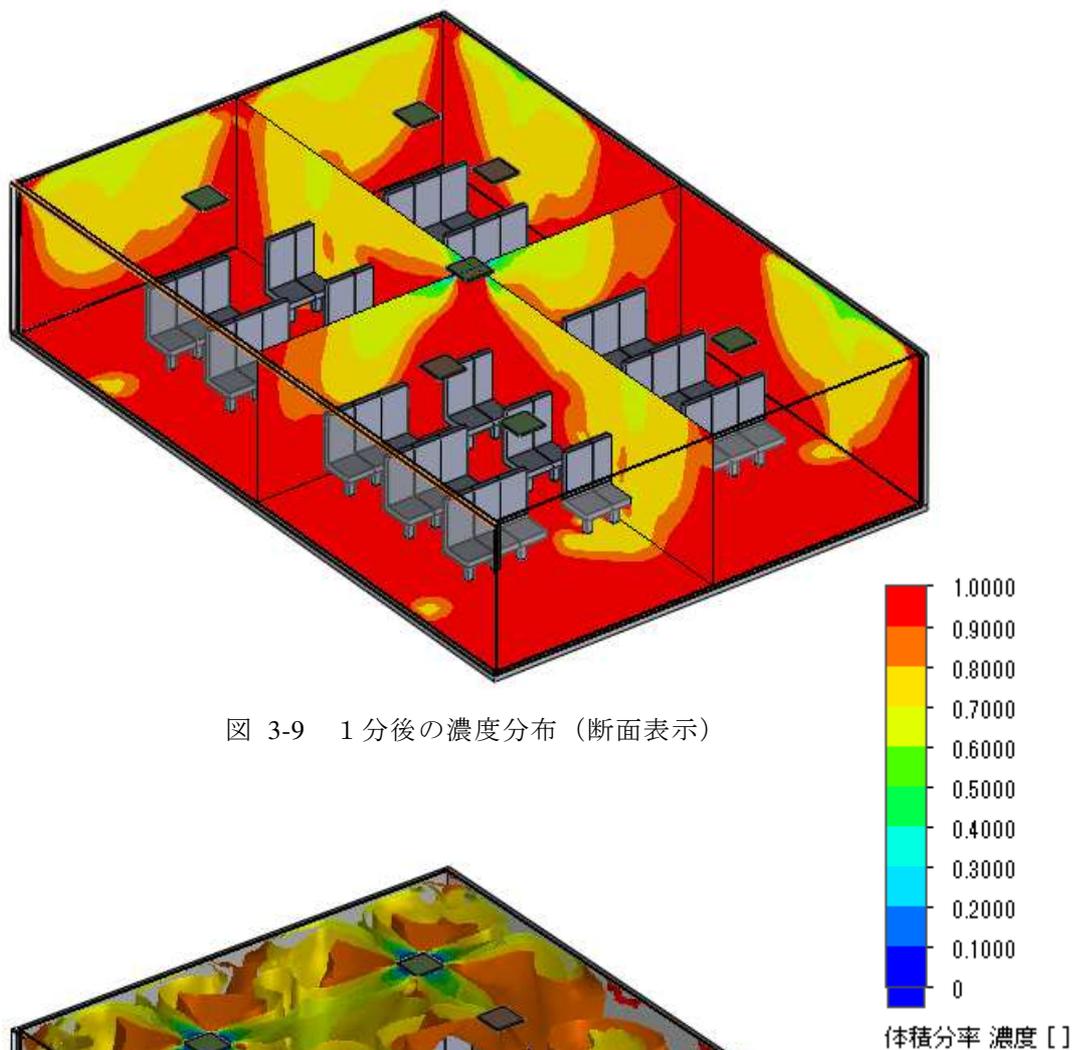


図 3-9 1 分後の濃度分布 (断面表示)

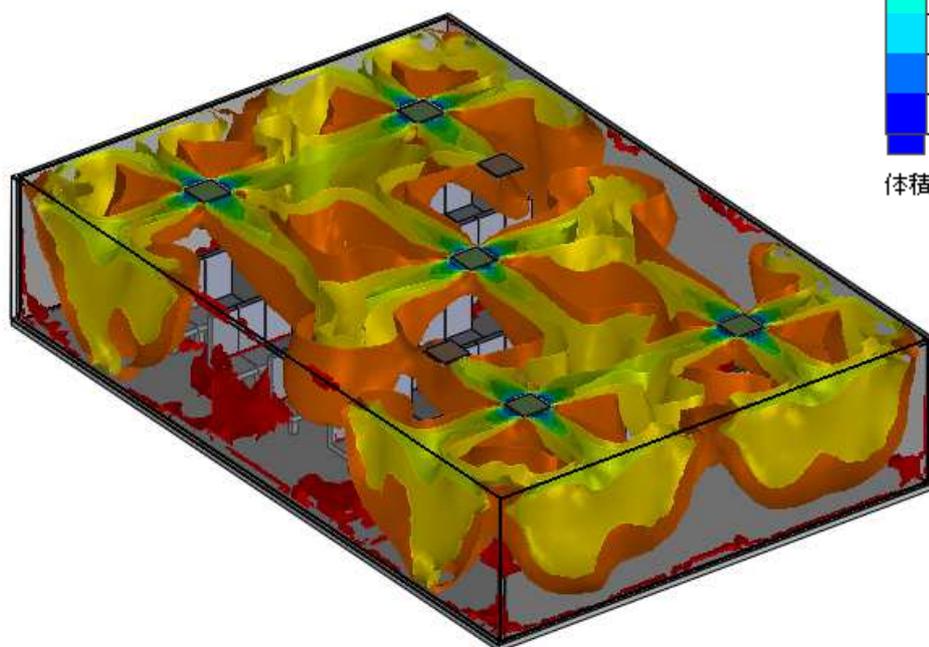


図 3-10 1 分後の濃度分布 (等値面表示)

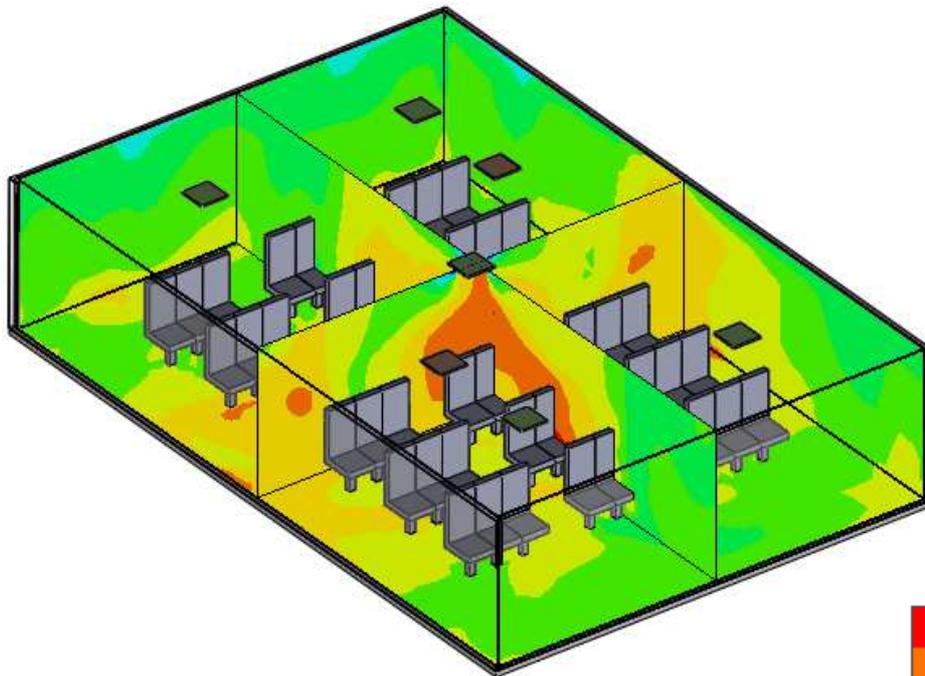


図 3-11 5分後の濃度分布（断面表示）

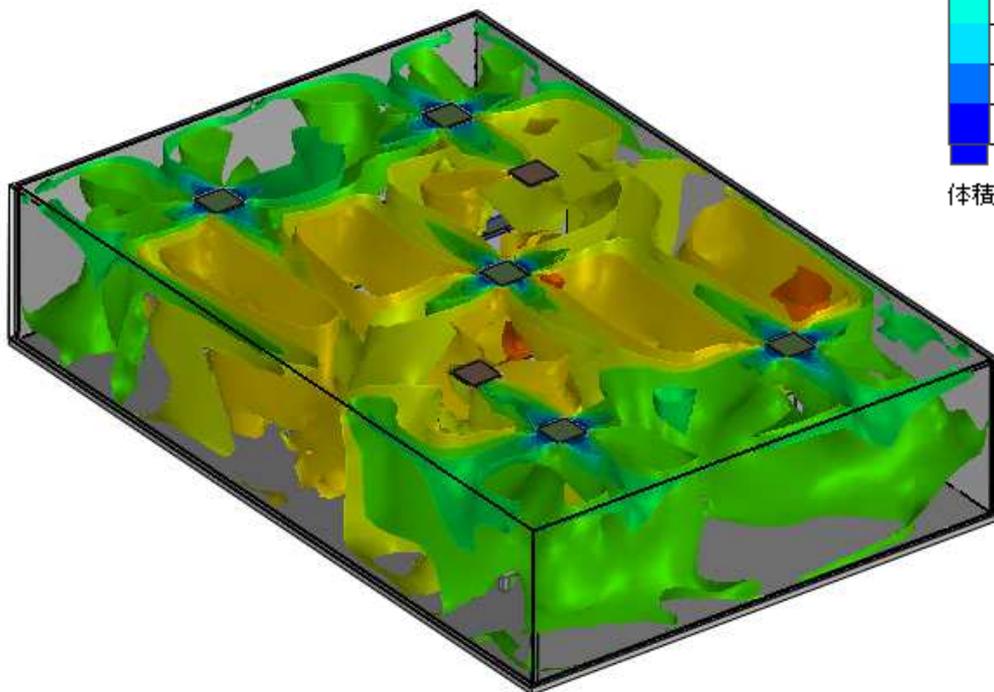
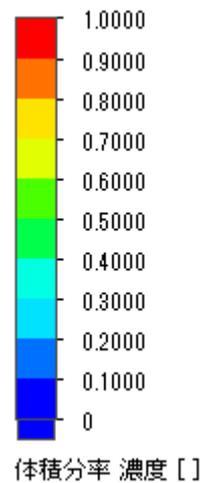


図 3-12 5分後の濃度分布（等値面表示）

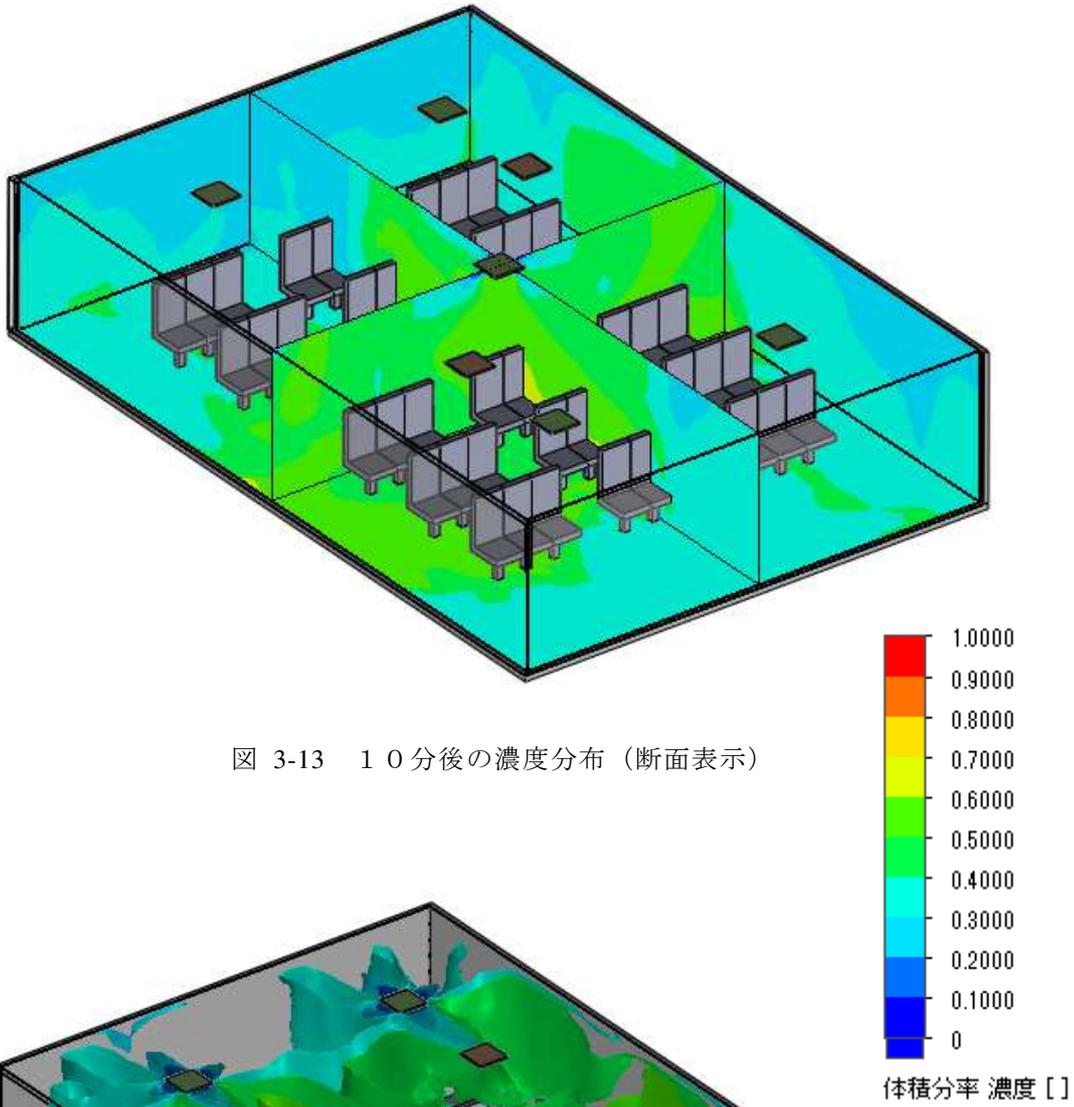


図 3-13 10分後の濃度分布（断面表示）

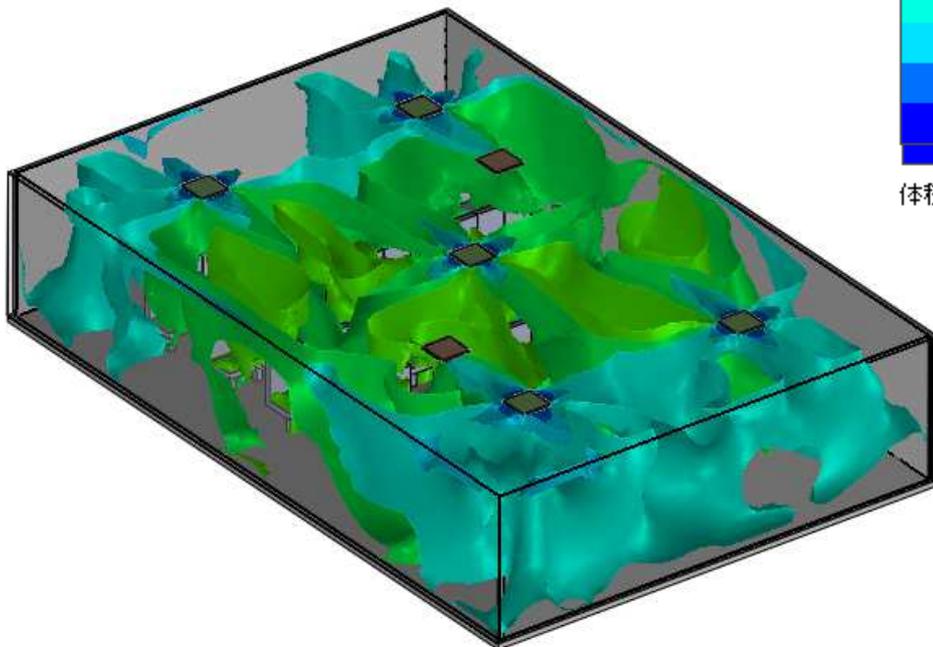


図 3-14 10分後の濃度分布（等値面表示）

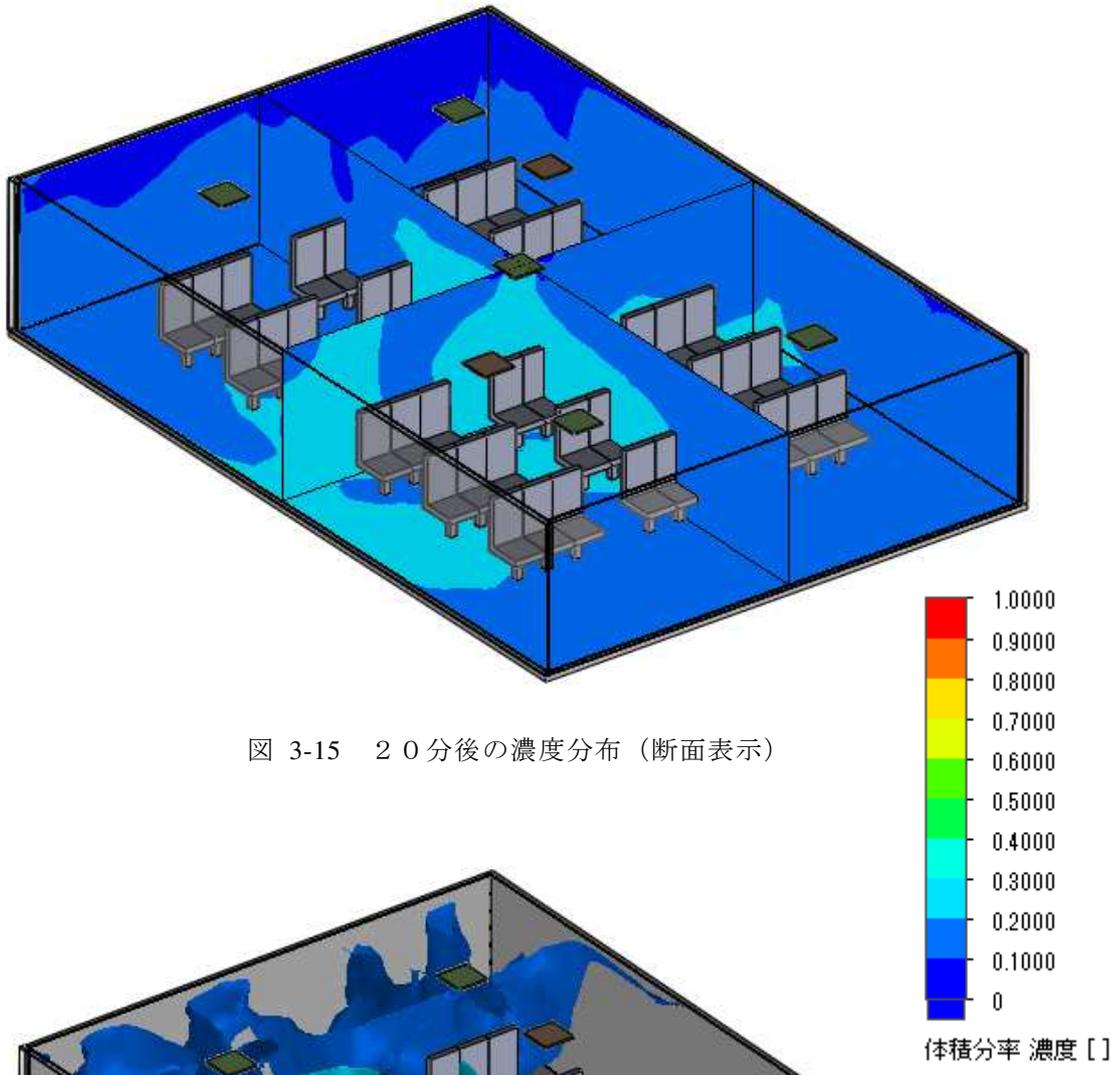


図 3-15 20分後の濃度分布（断面表示）

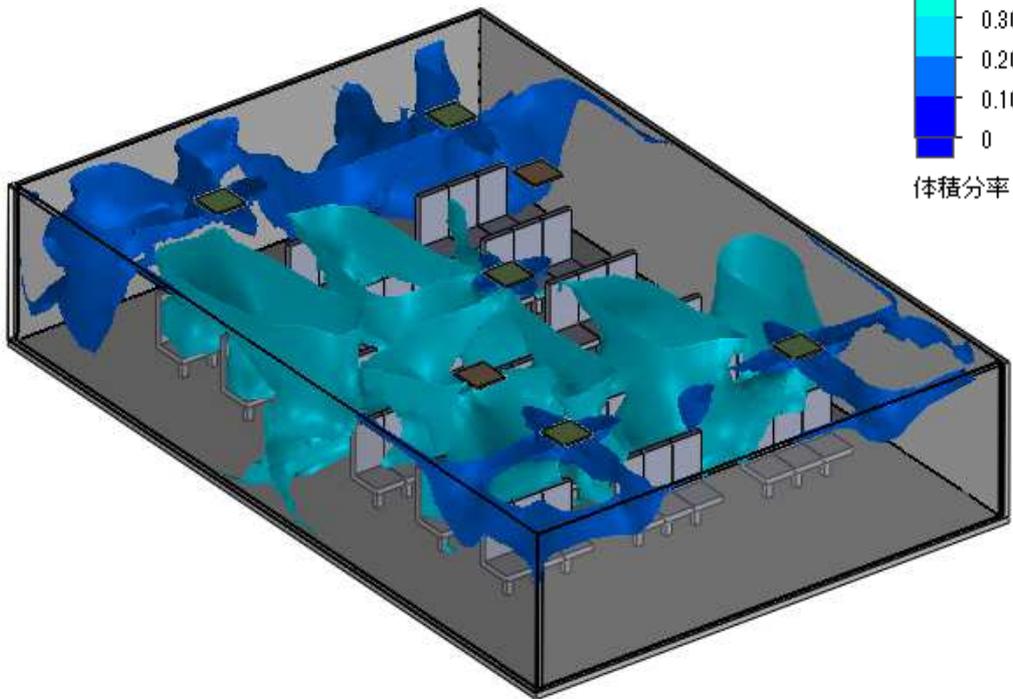


図 3-16 20分後の濃度分布（等値面表示）

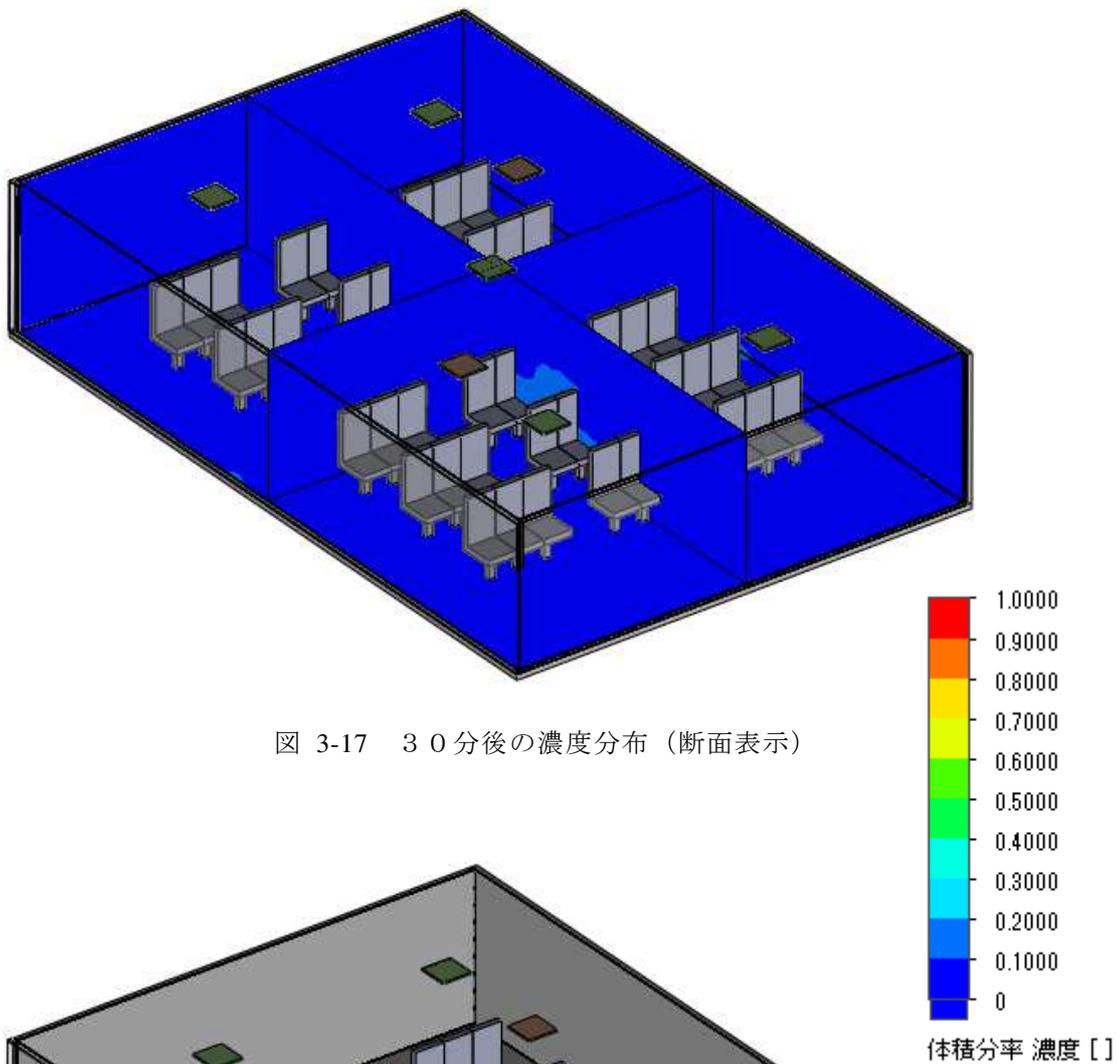


図 3-17 30分後の濃度分布（断面表示）

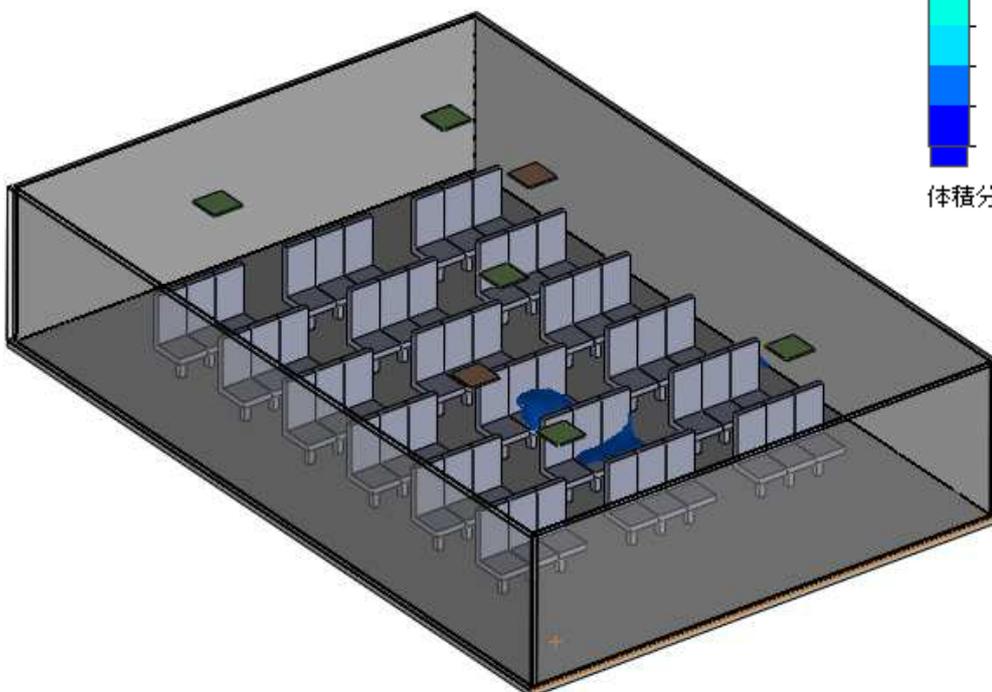


図 3-18 30分後の濃度分布（等値面表示）

(2) 乗船率 50%

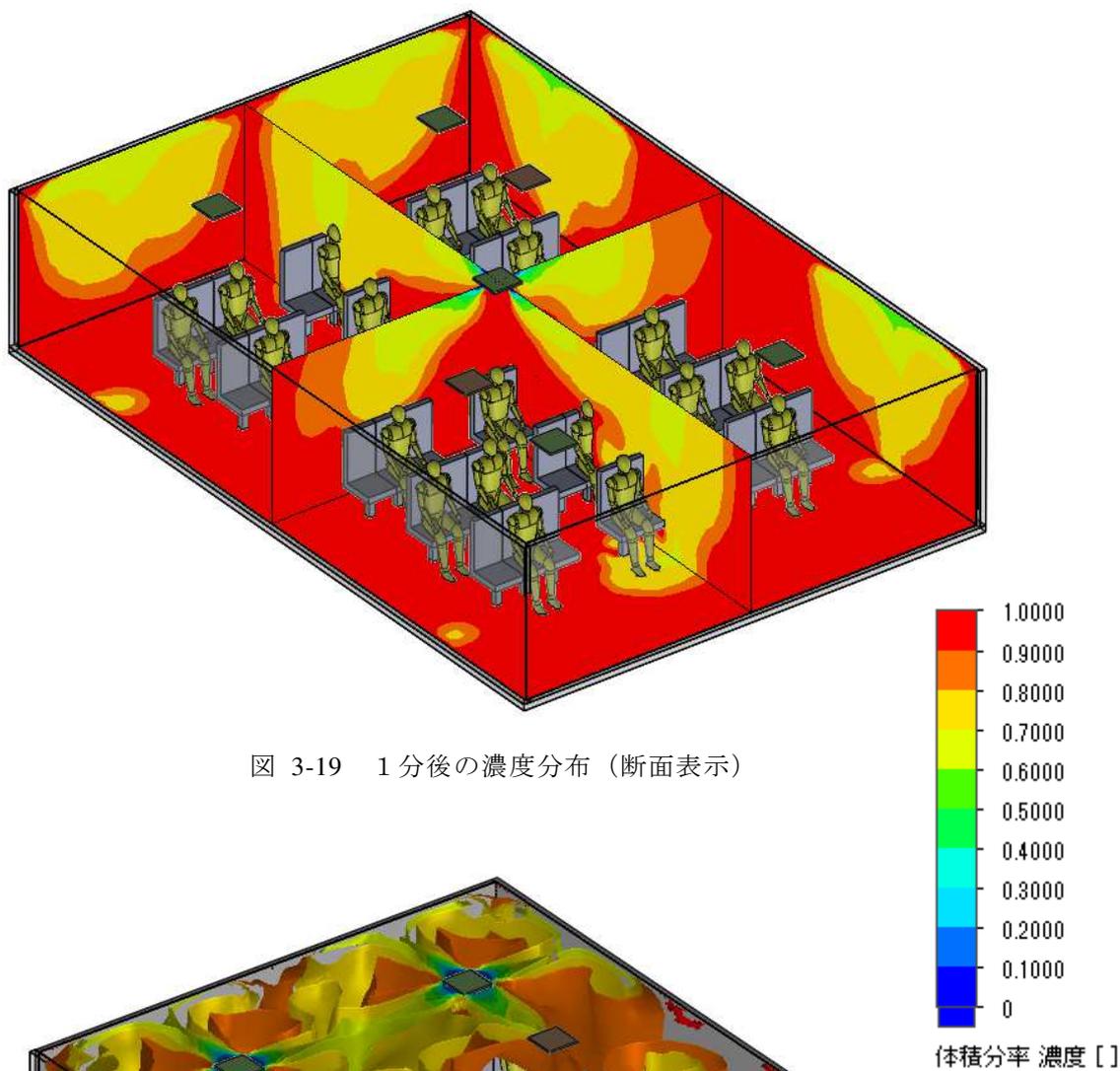


図 3-19 1分後の濃度分布（断面表示）

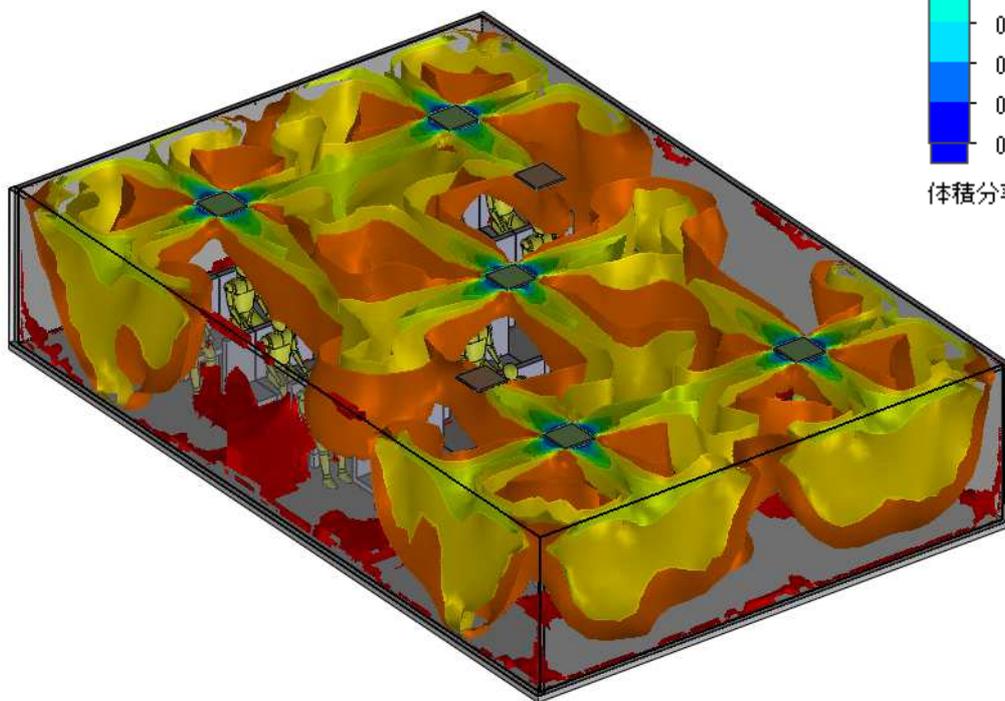


図 3-20 1分後の濃度分布（等値面表示）

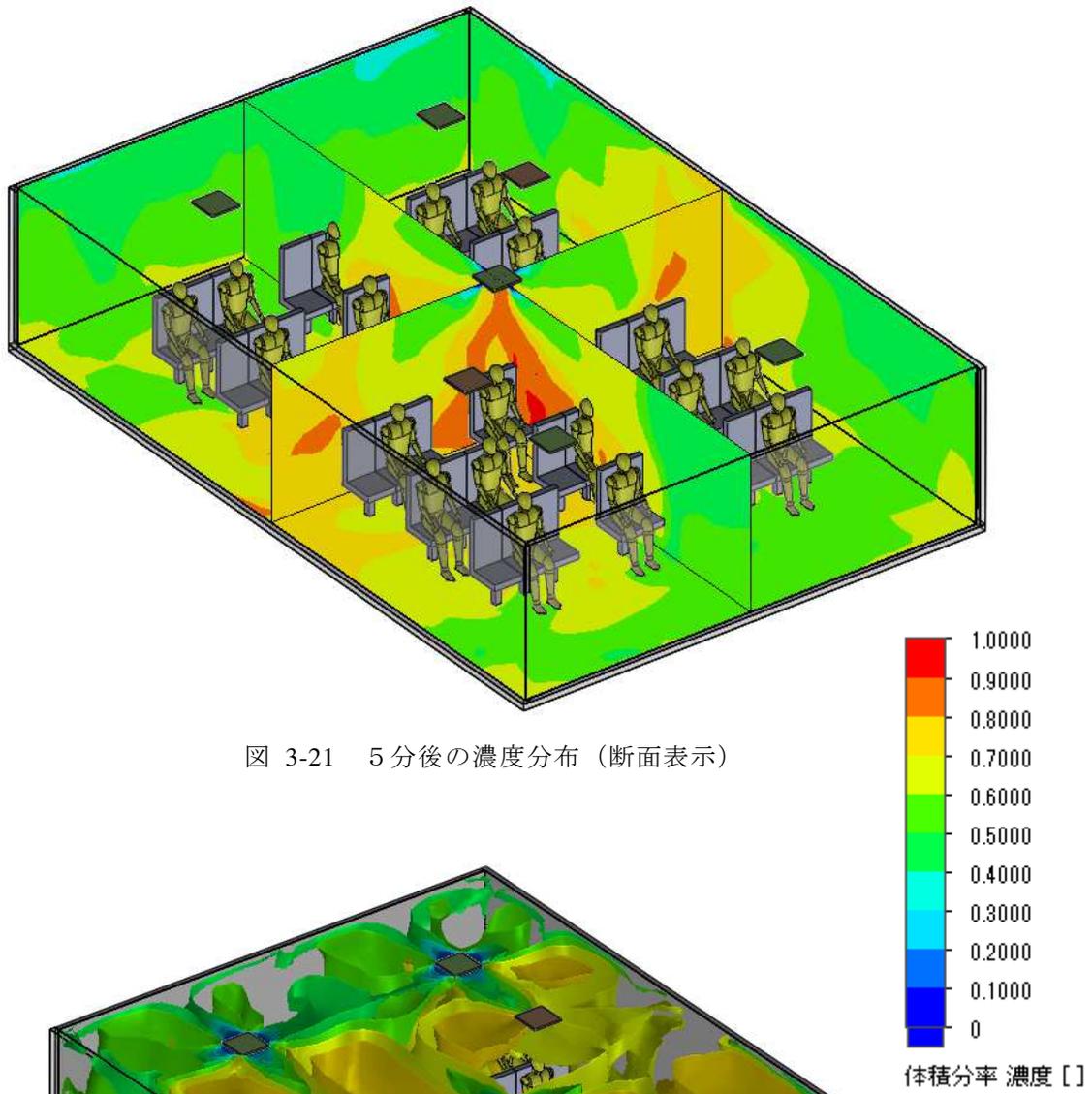


図 3-21 5分後の濃度分布（断面表示）

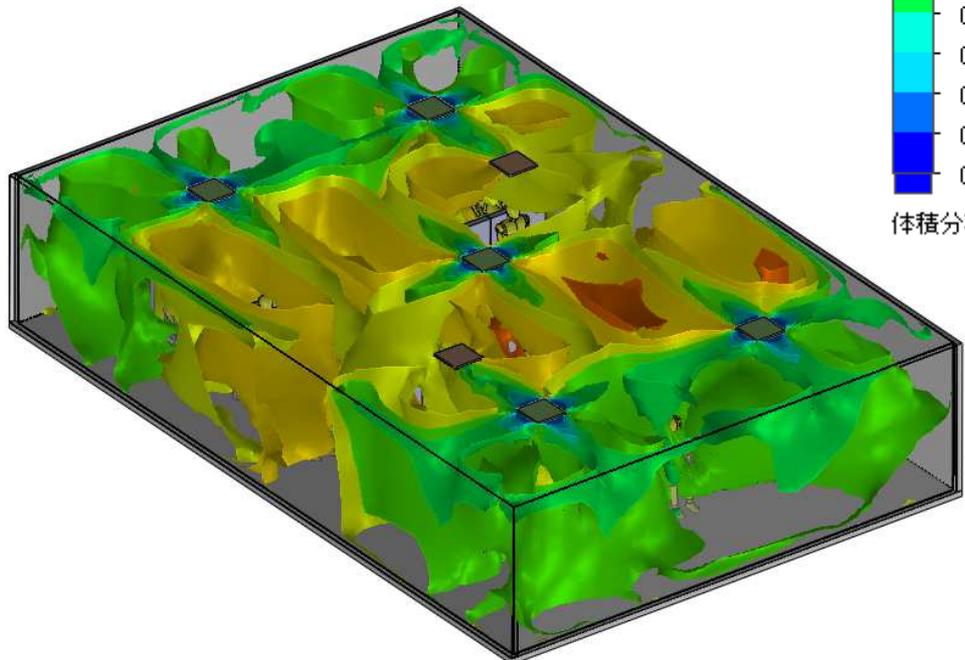


図 3-22 5分後の濃度分布（等値面表示）

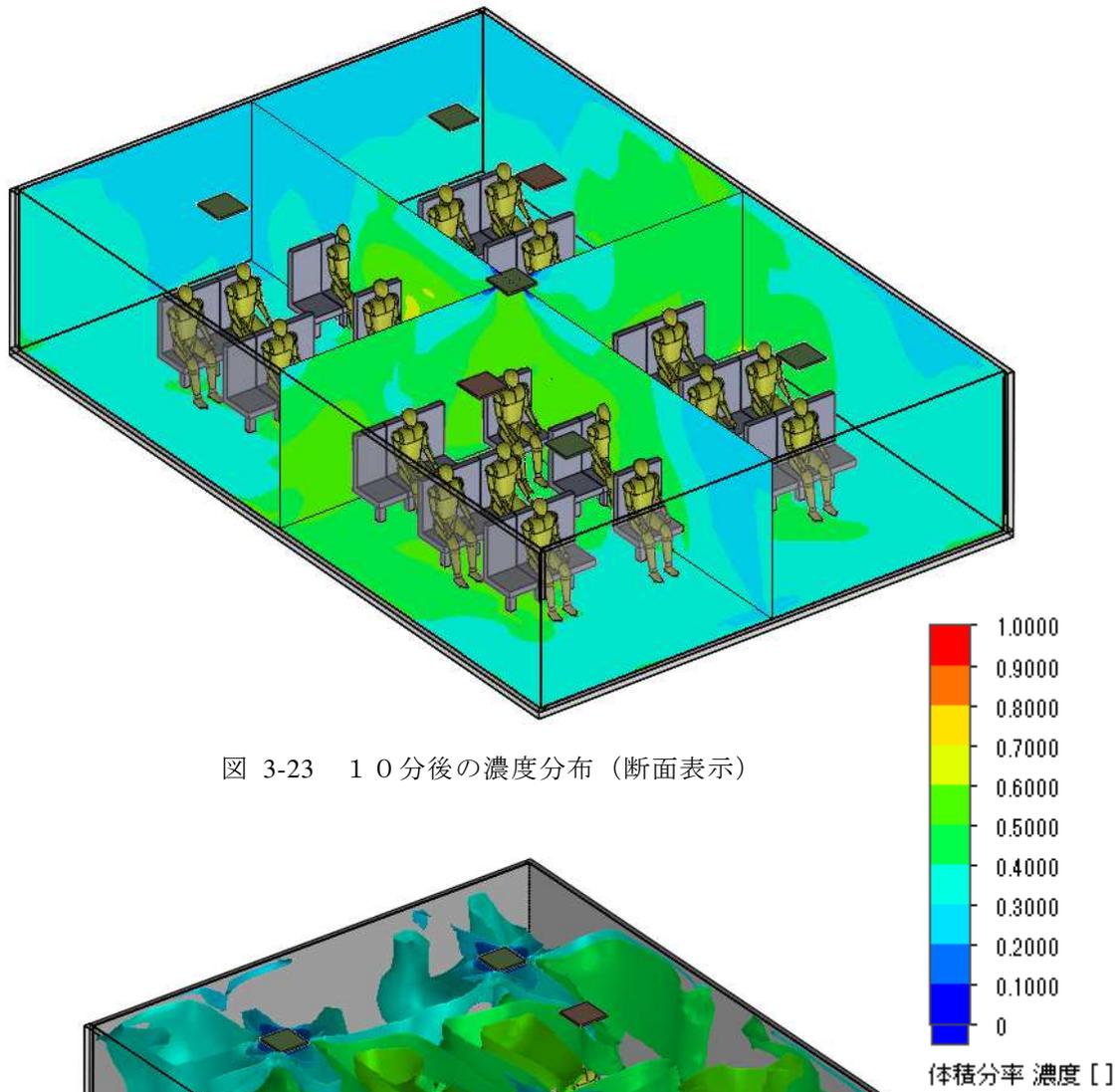


図 3-23 10分後の濃度分布（断面表示）

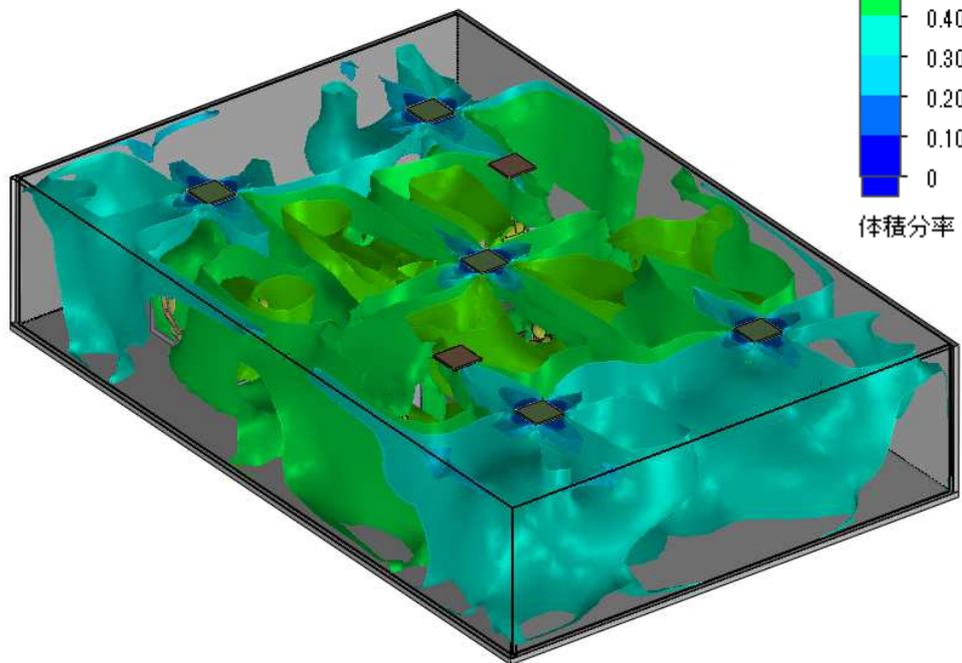


図 3-24 10分後の濃度分布（等値面表示）

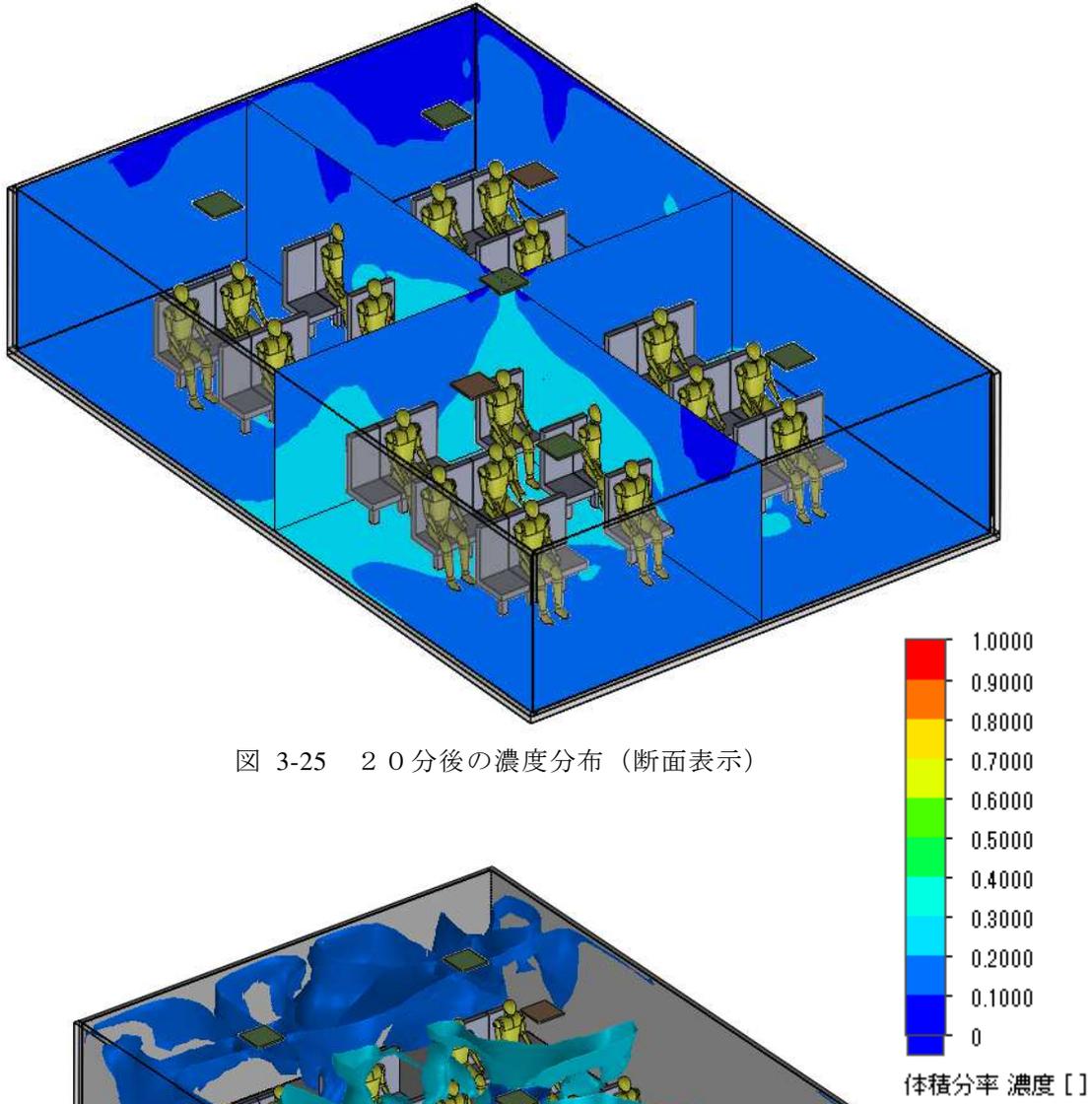


図 3-25 20分後の濃度分布（断面表示）

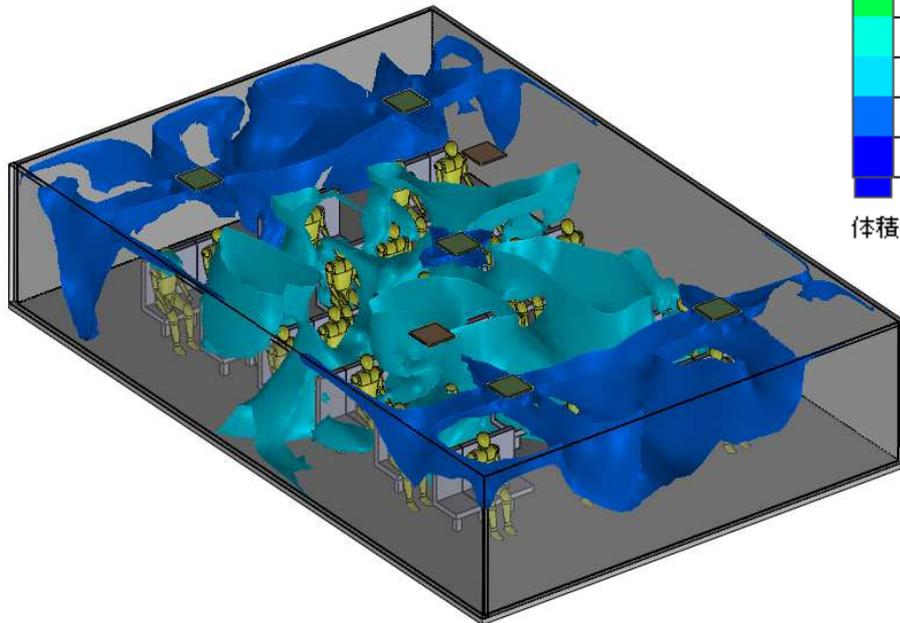


図 3-26 20分後の濃度分布（等値面表示）

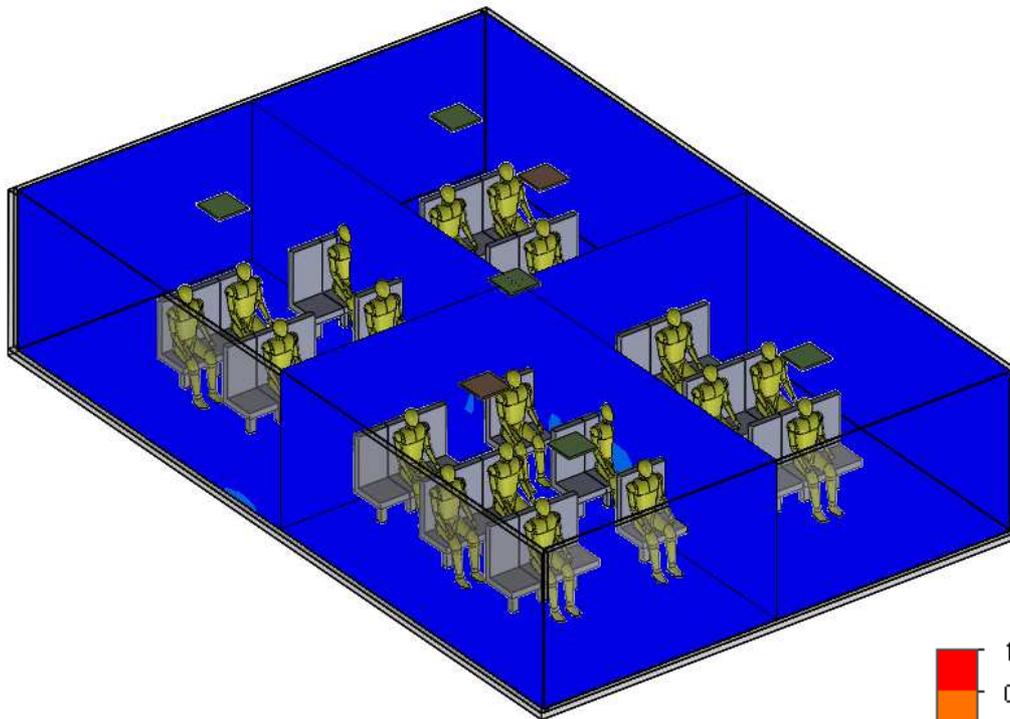


図 3-27 30分後の濃度分布（断面表示）

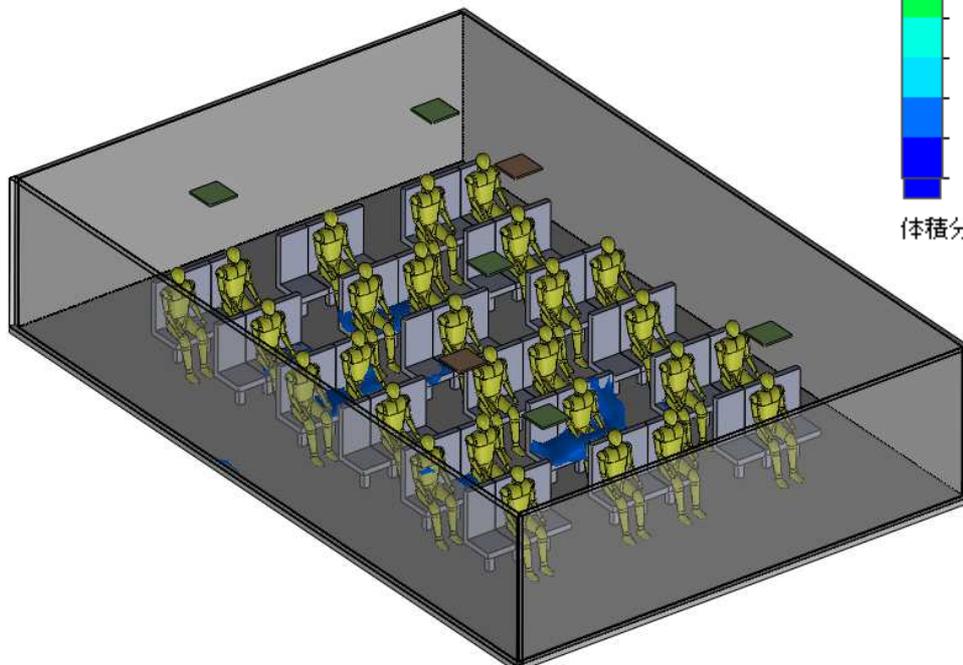
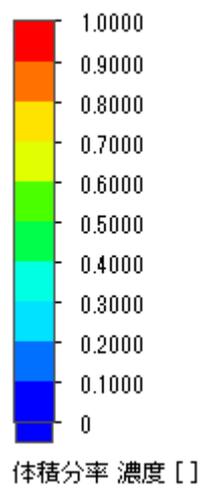


図 3-28 30分後の濃度分布（等値面表示）

(3) 乗船率 100%

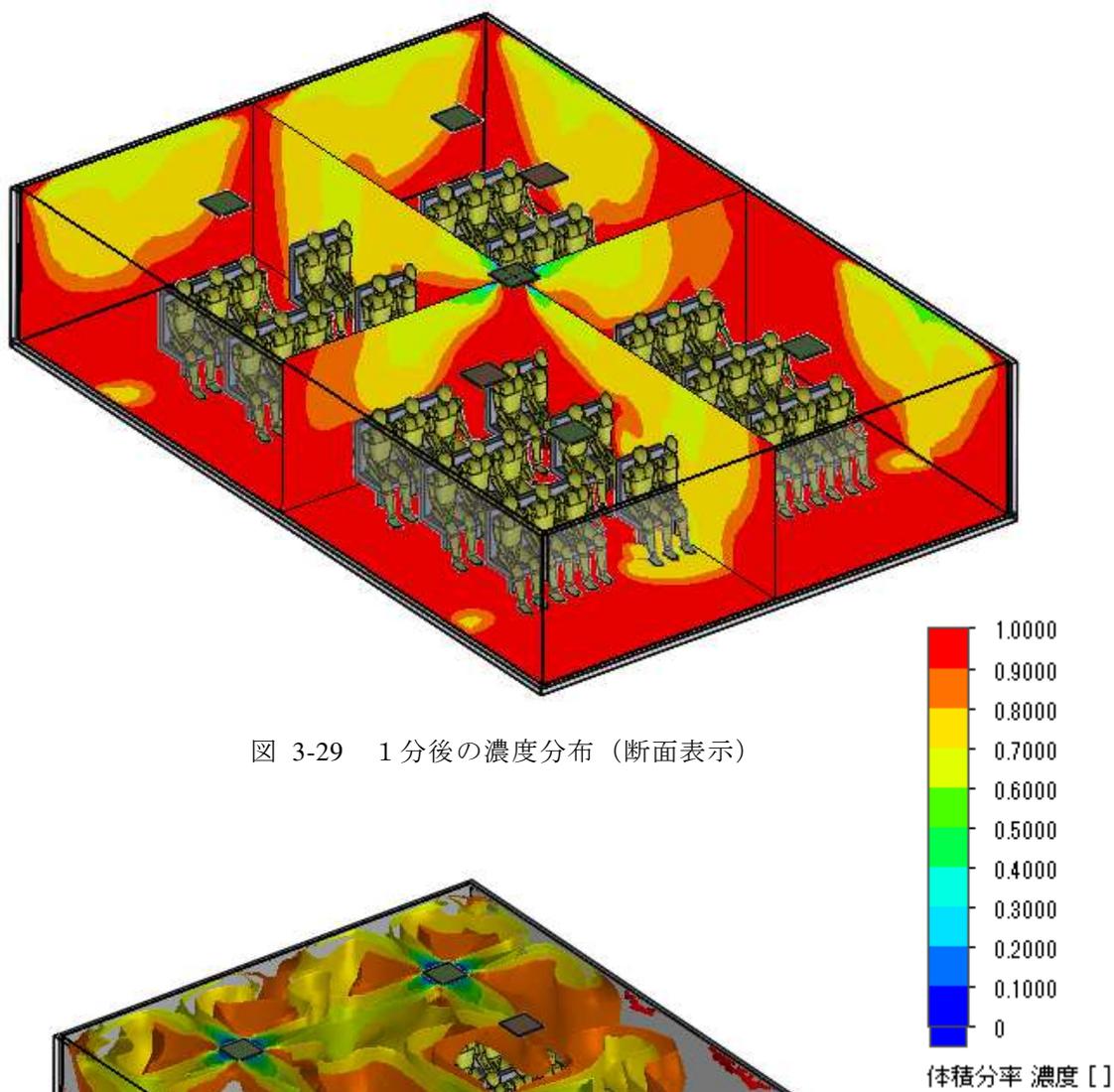


図 3-29 1 分後の濃度分布 (断面表示)

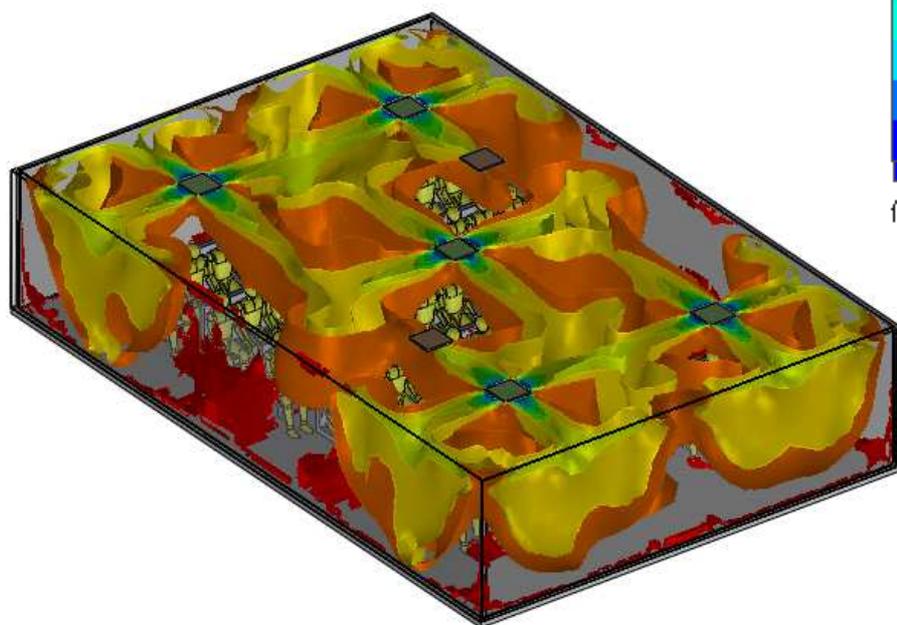


図 3-30 30 分後の濃度分布 (等値面表示)

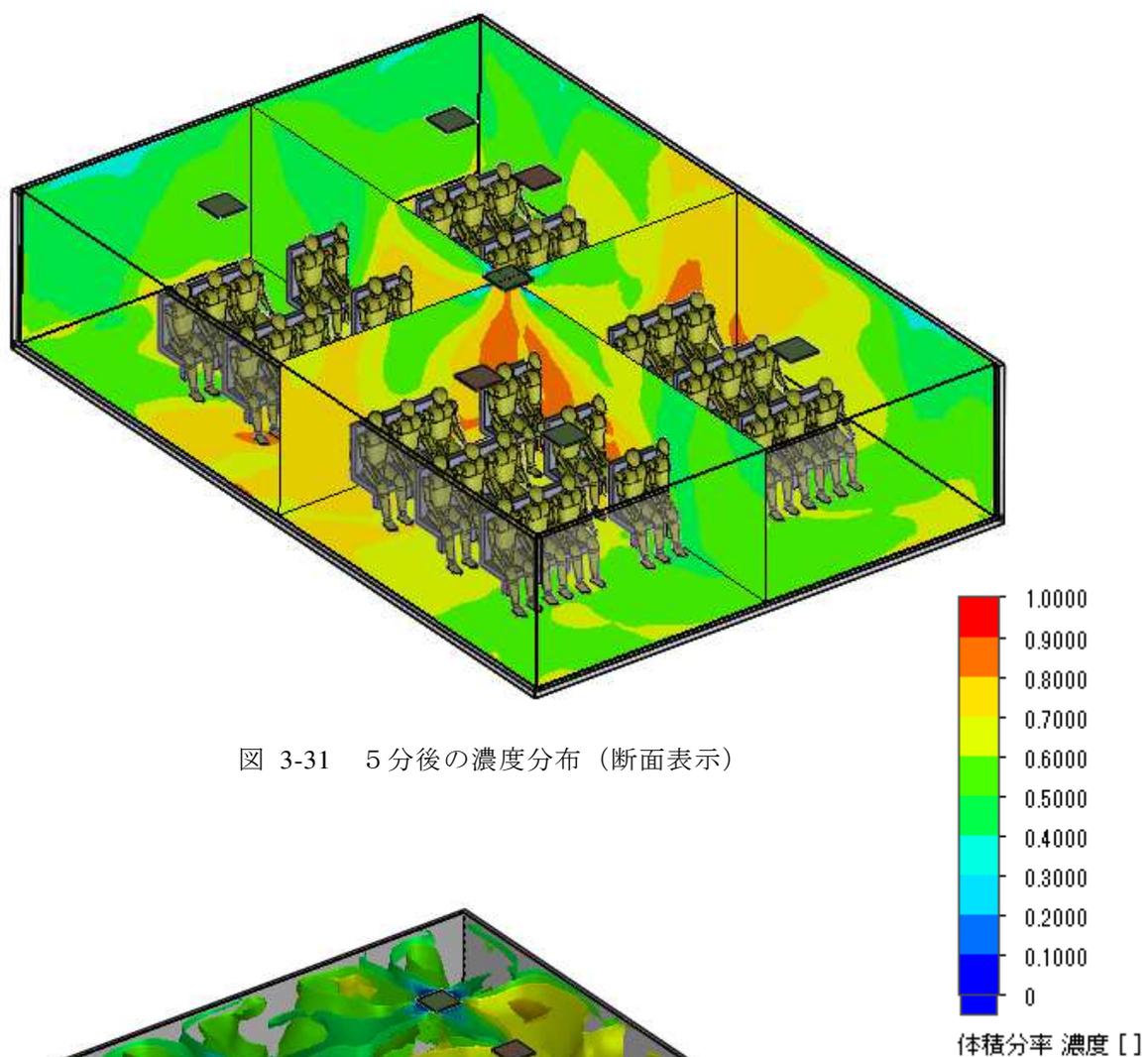


図 3-31 5分後の濃度分布（断面表示）

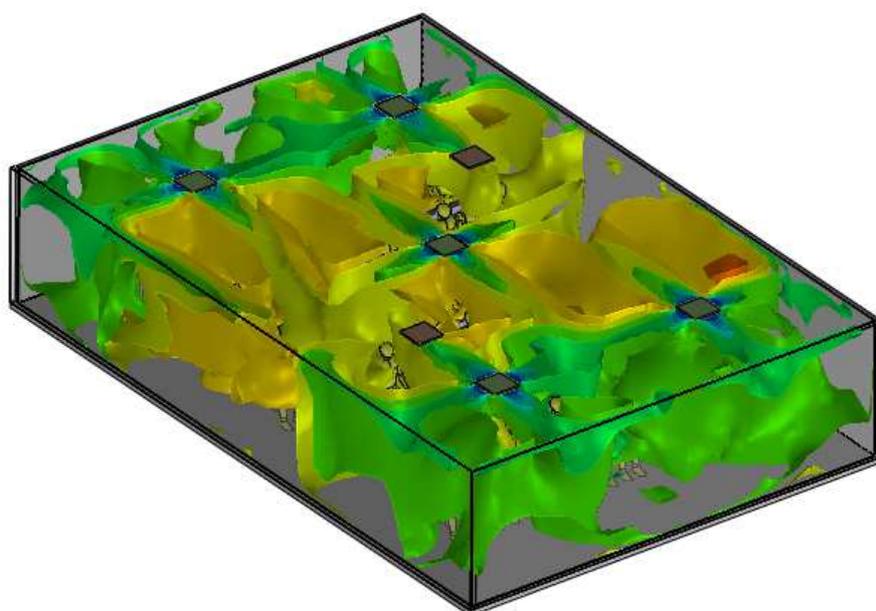


図 3-32 5分後の濃度分布（等値面表示）

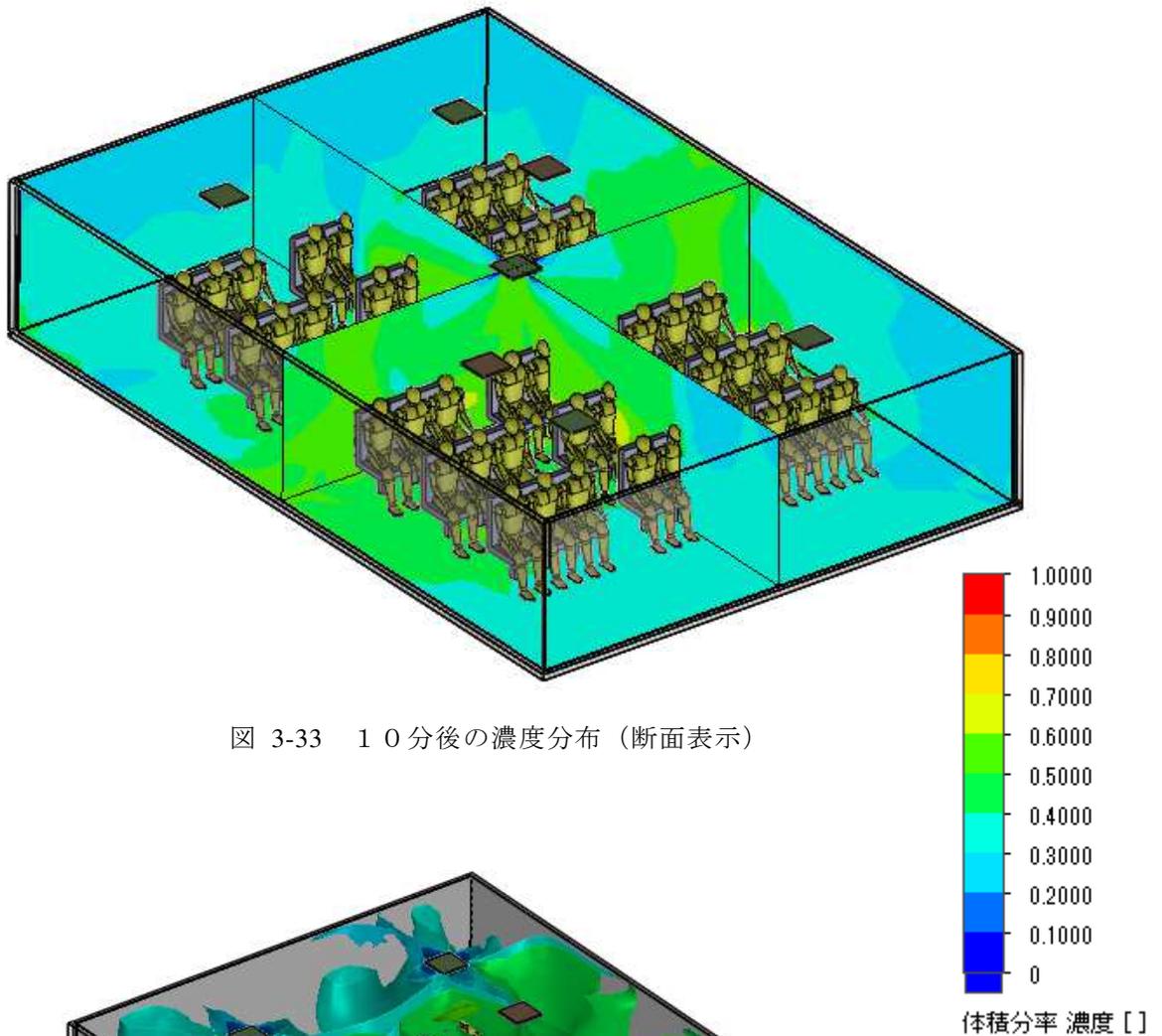


図 3-33 10分後の濃度分布（断面表示）

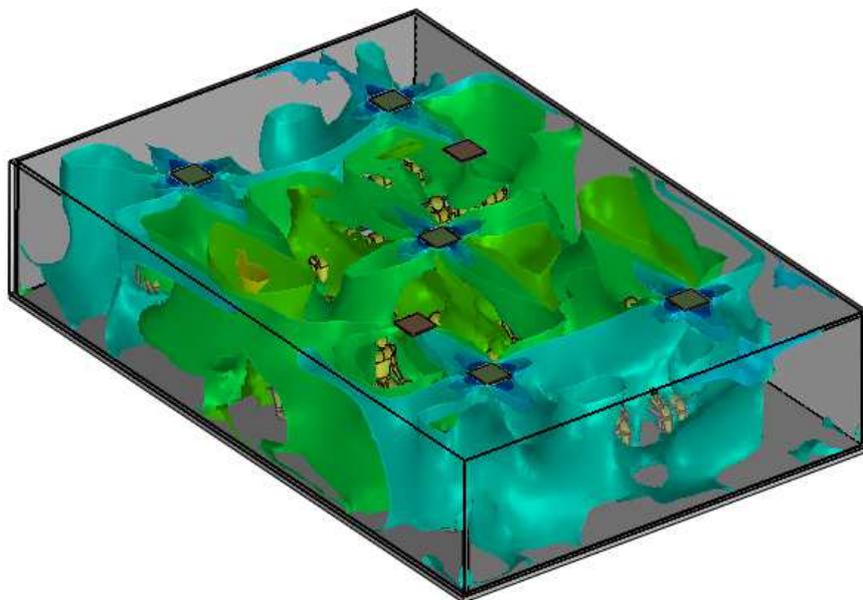


図 3-34 10分後の濃度分布（等値面表示）

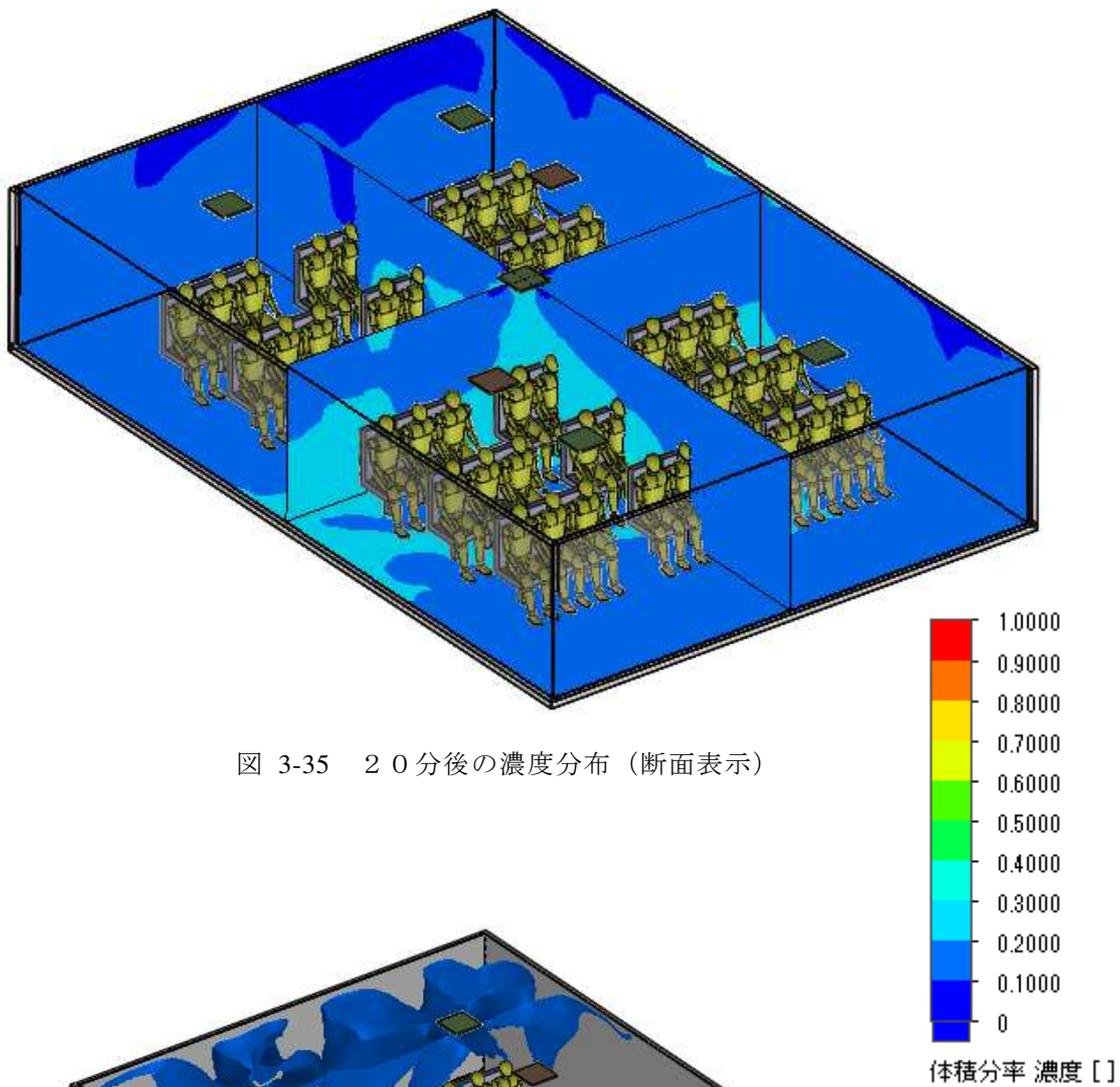


図 3-35 20分後の濃度分布（断面表示）

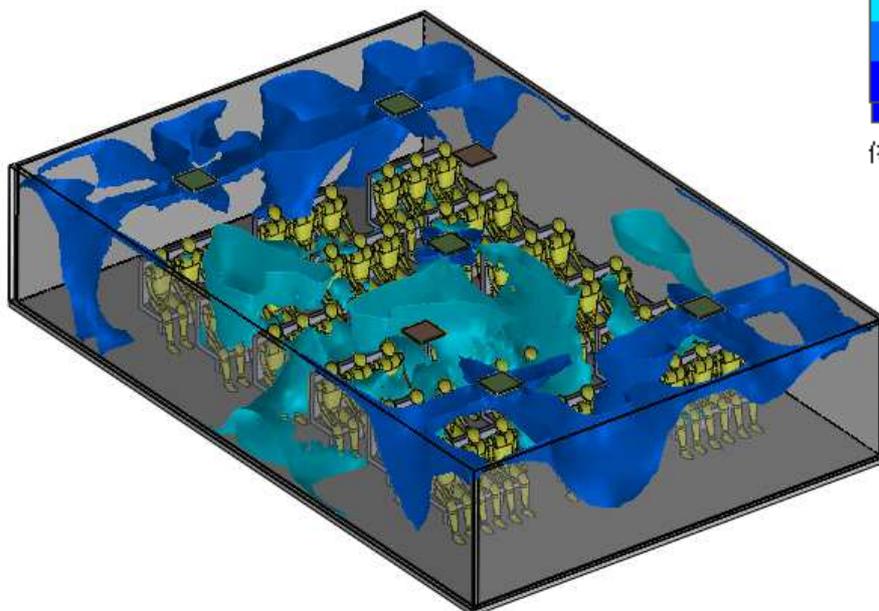


図 3-36 20分後の濃度分布（等値面表示）

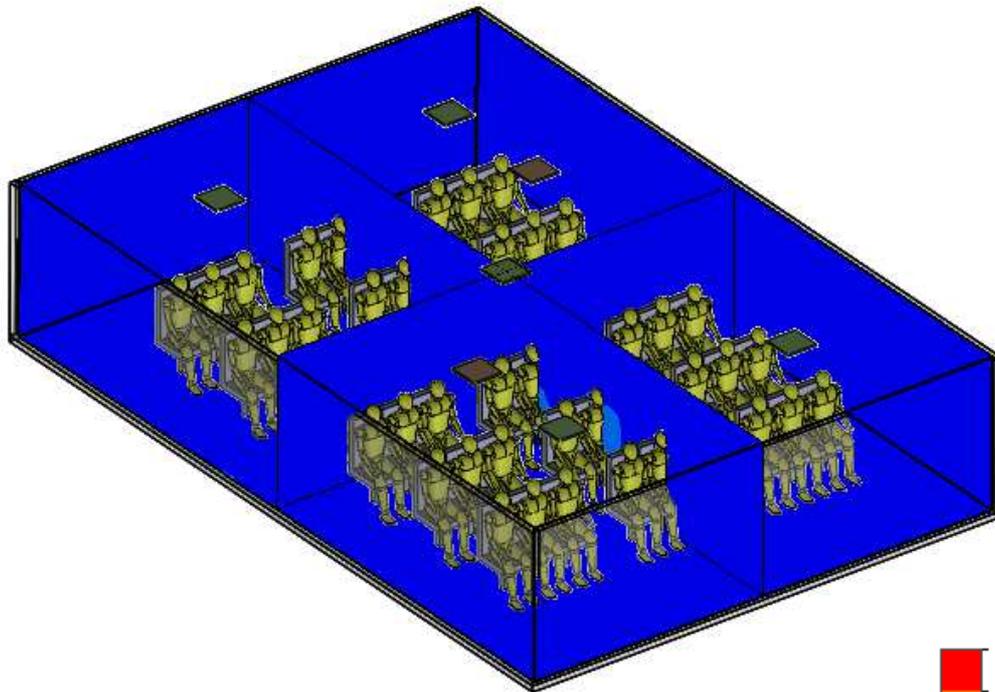


図 3-37 30分後の濃度分布（断面表示）

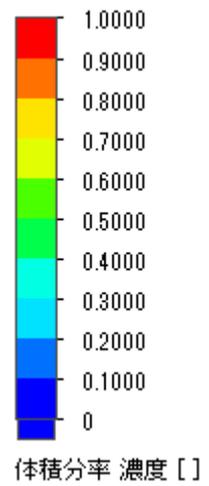
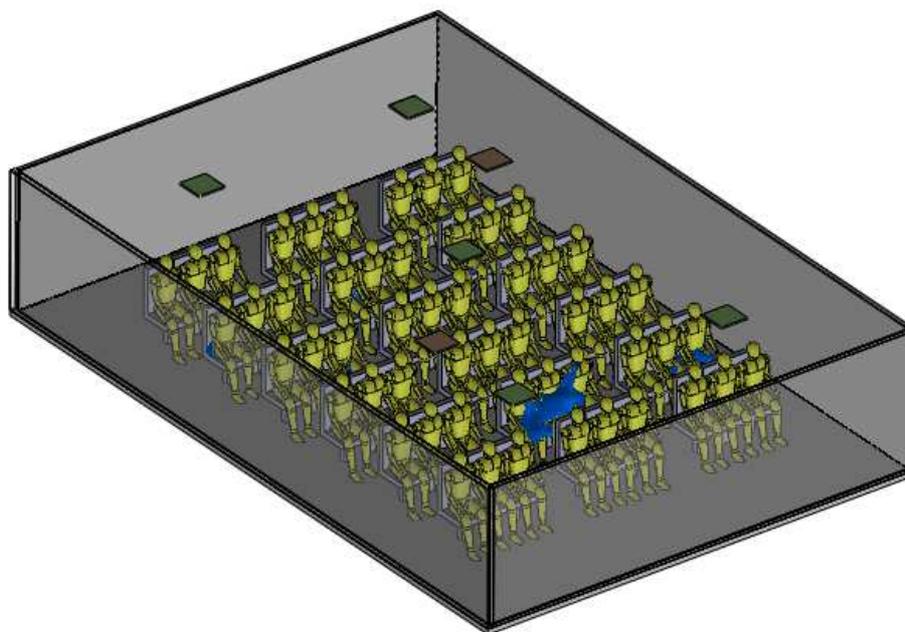


図 3-38 30分後の濃度分布（等値面表示）

3.2.2. ケース 2 (16m×12m)

(1) 乗船率 0%

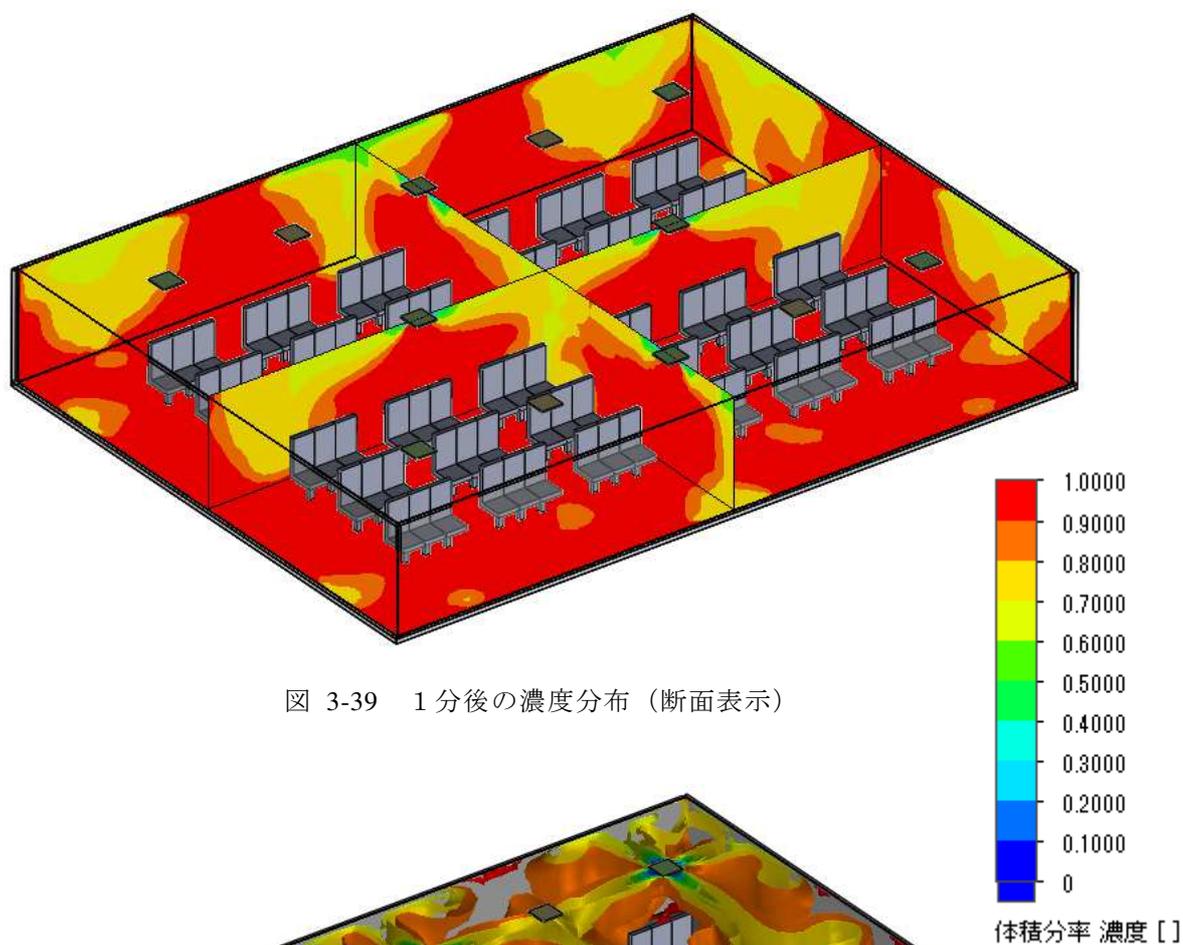


図 3-39 1分後の濃度分布 (断面表示)

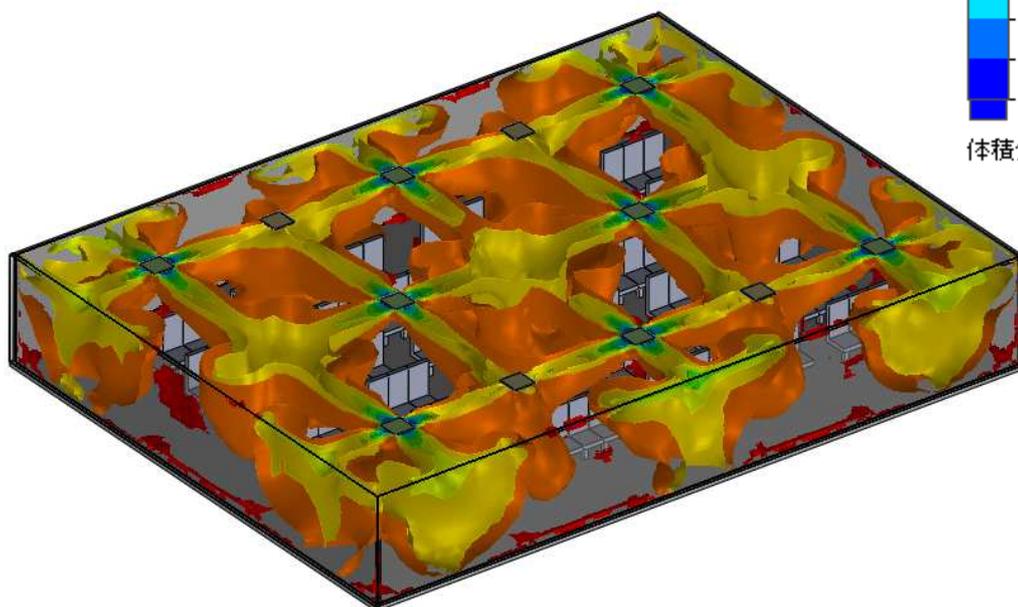


図 3-40 1分後の濃度分布 (等値面表示)

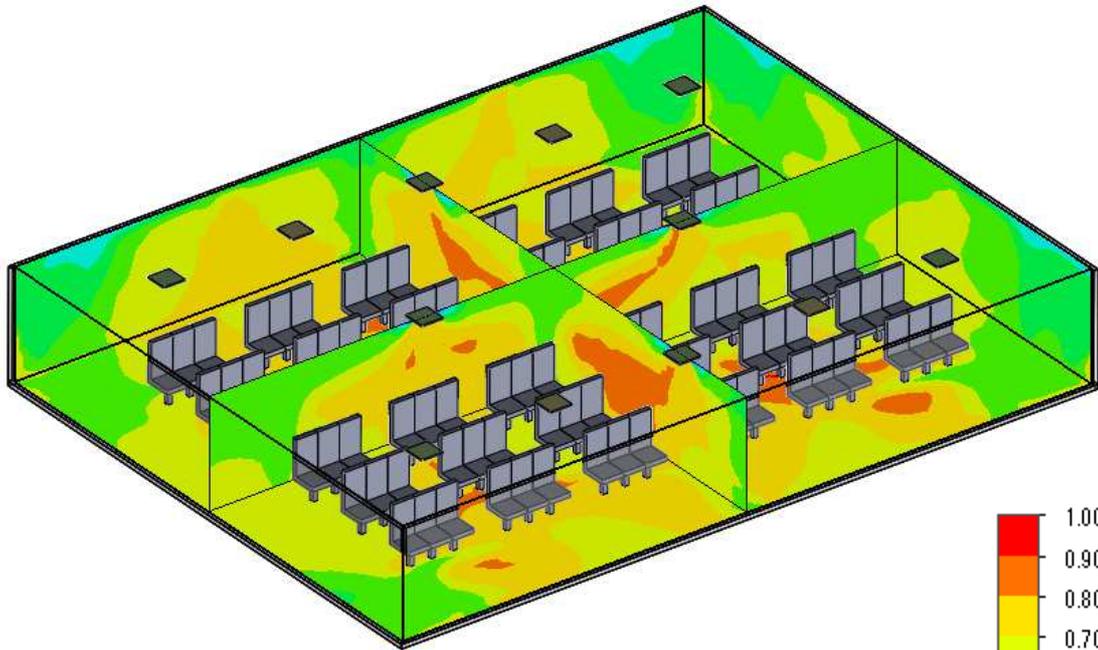


図 3-41 5分後の濃度分布（断面表示）

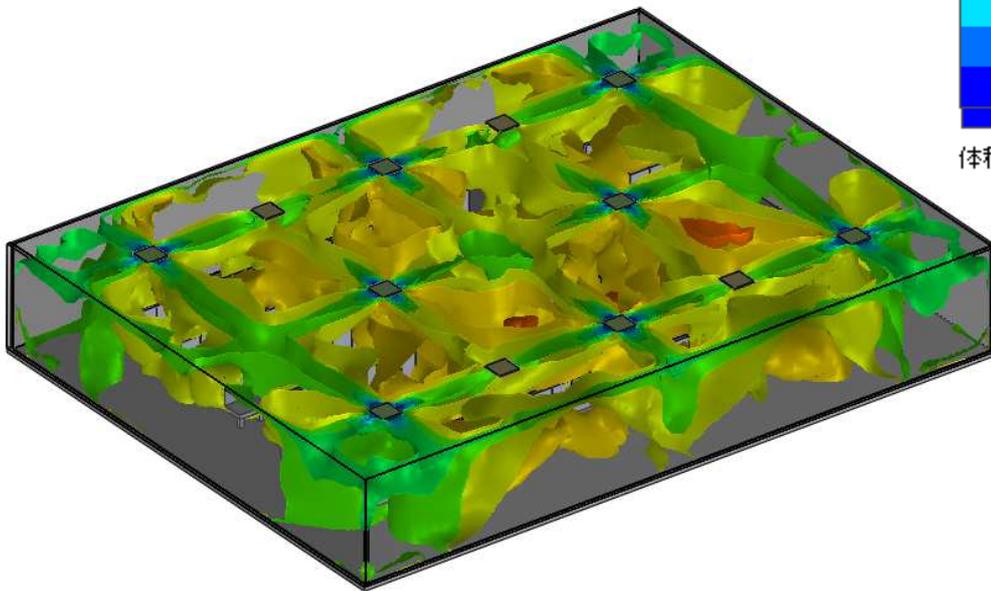
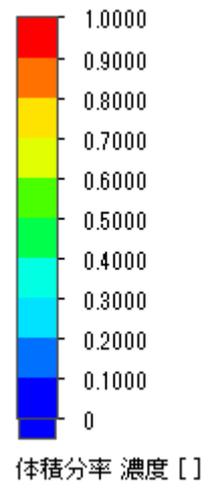


図 3-42 5分後の濃度分布（等値面表示）

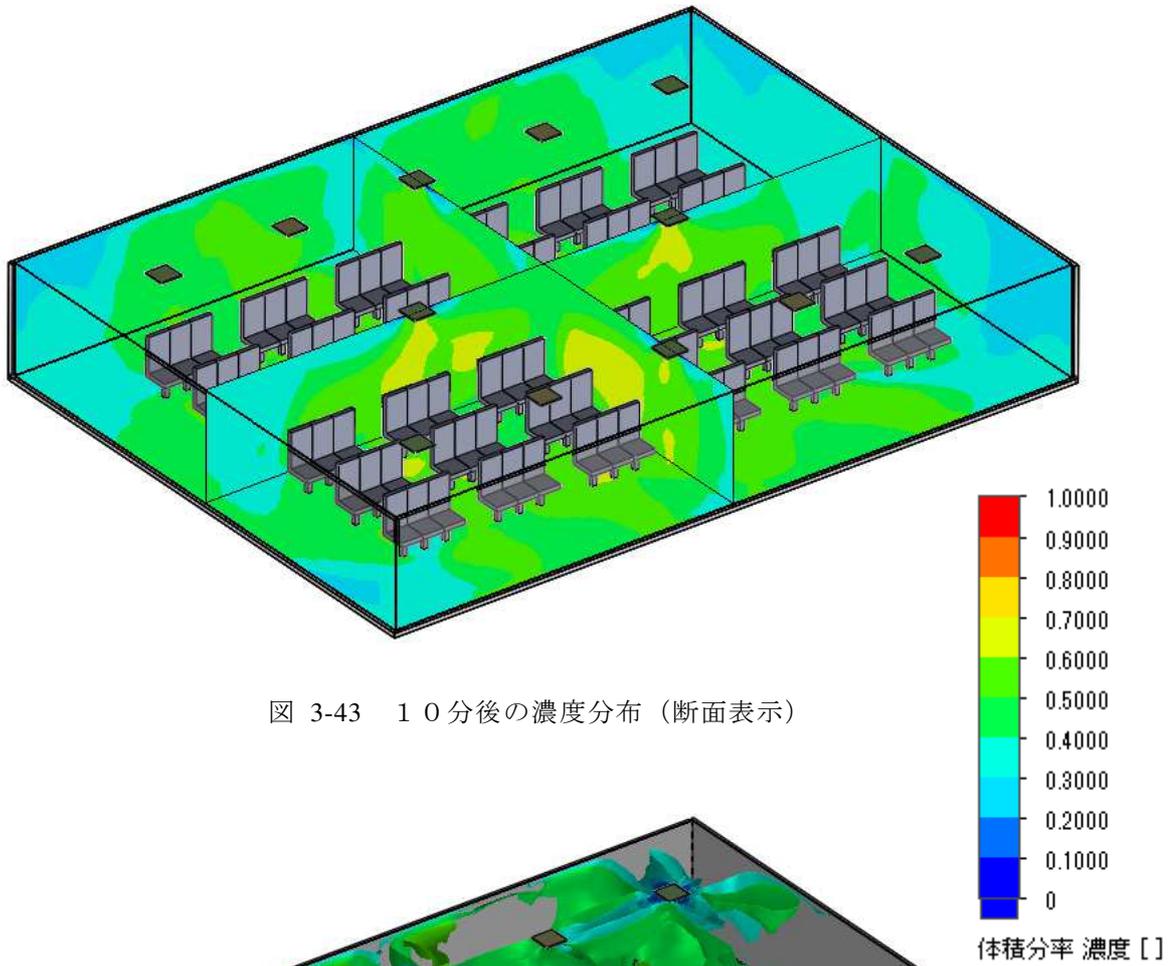


図 3-43 10分後の濃度分布（断面表示）

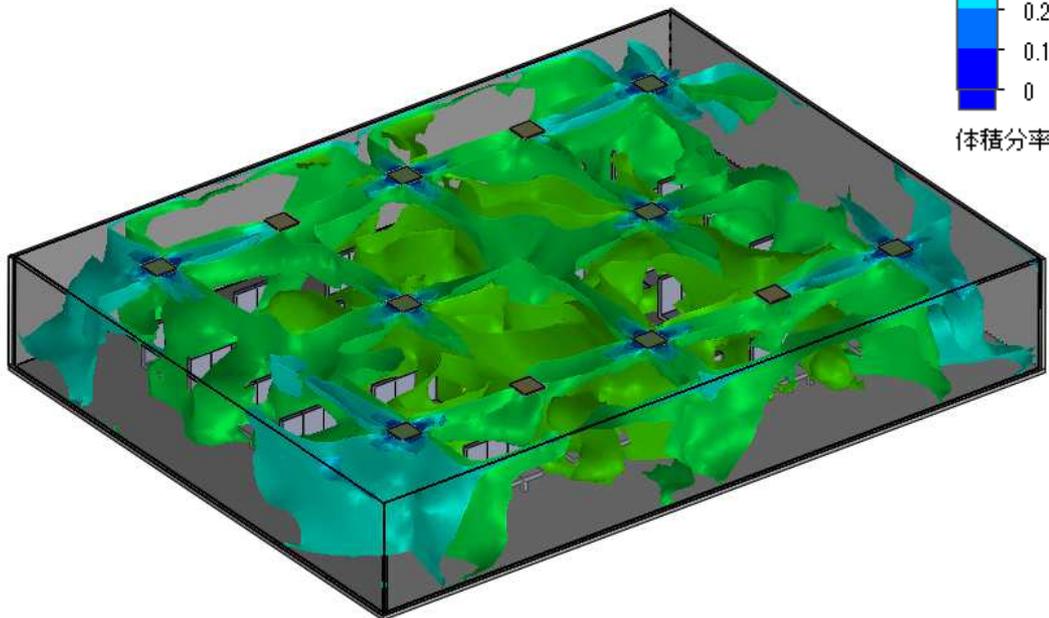


図 3-44 10分後の濃度分布（等値面表示）

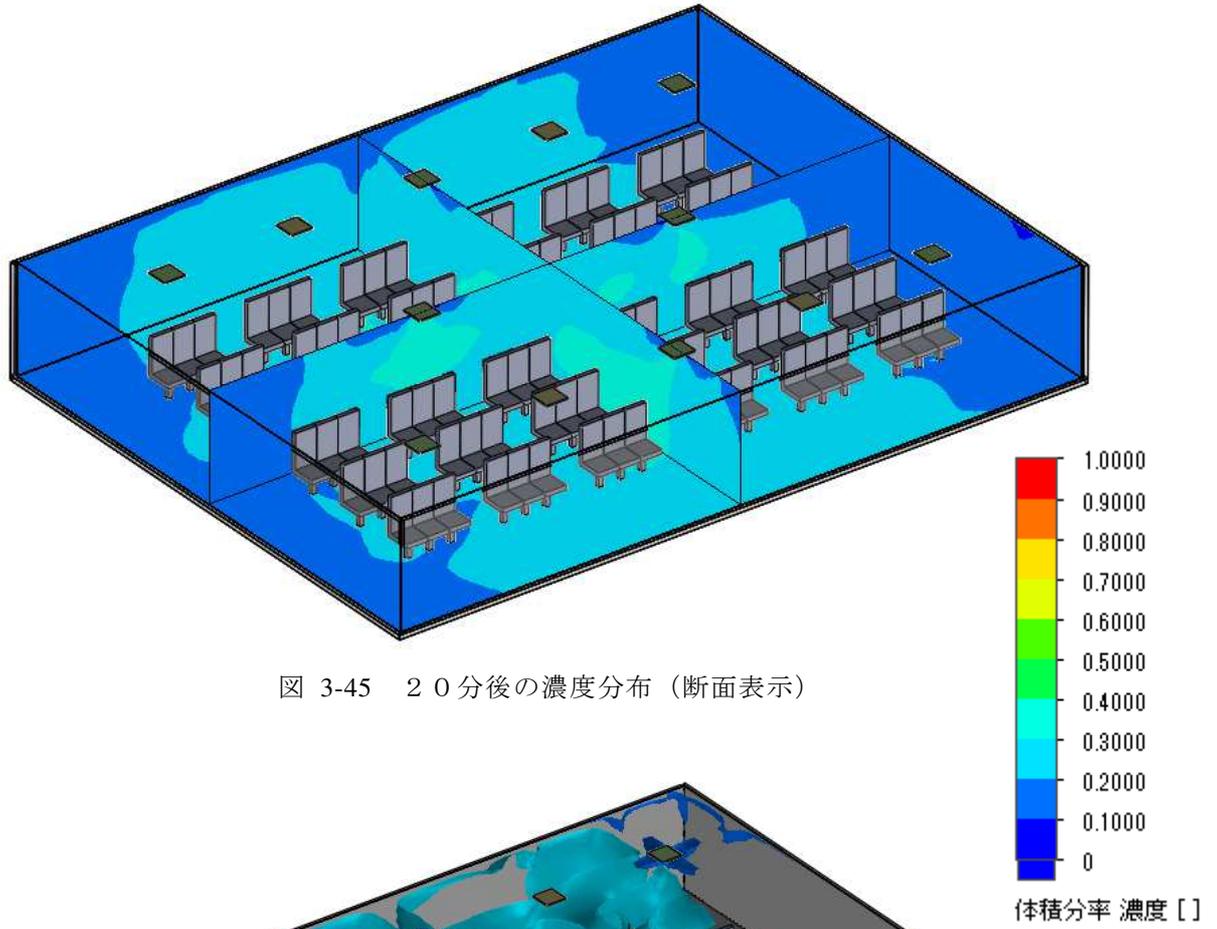


図 3-45 20分後の濃度分布（断面表示）

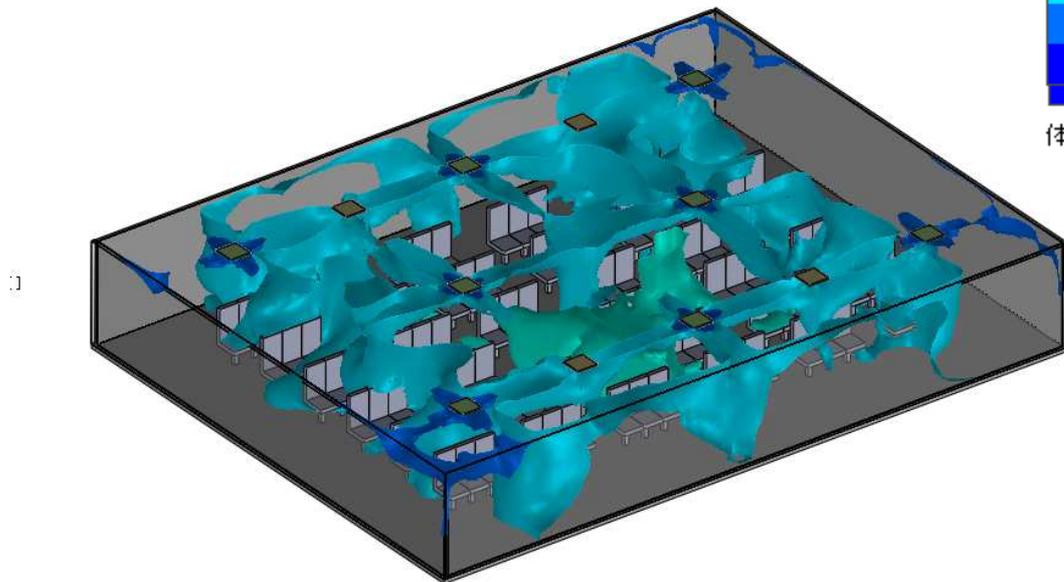


図 3-46 20分後の濃度分布（等値面表示）

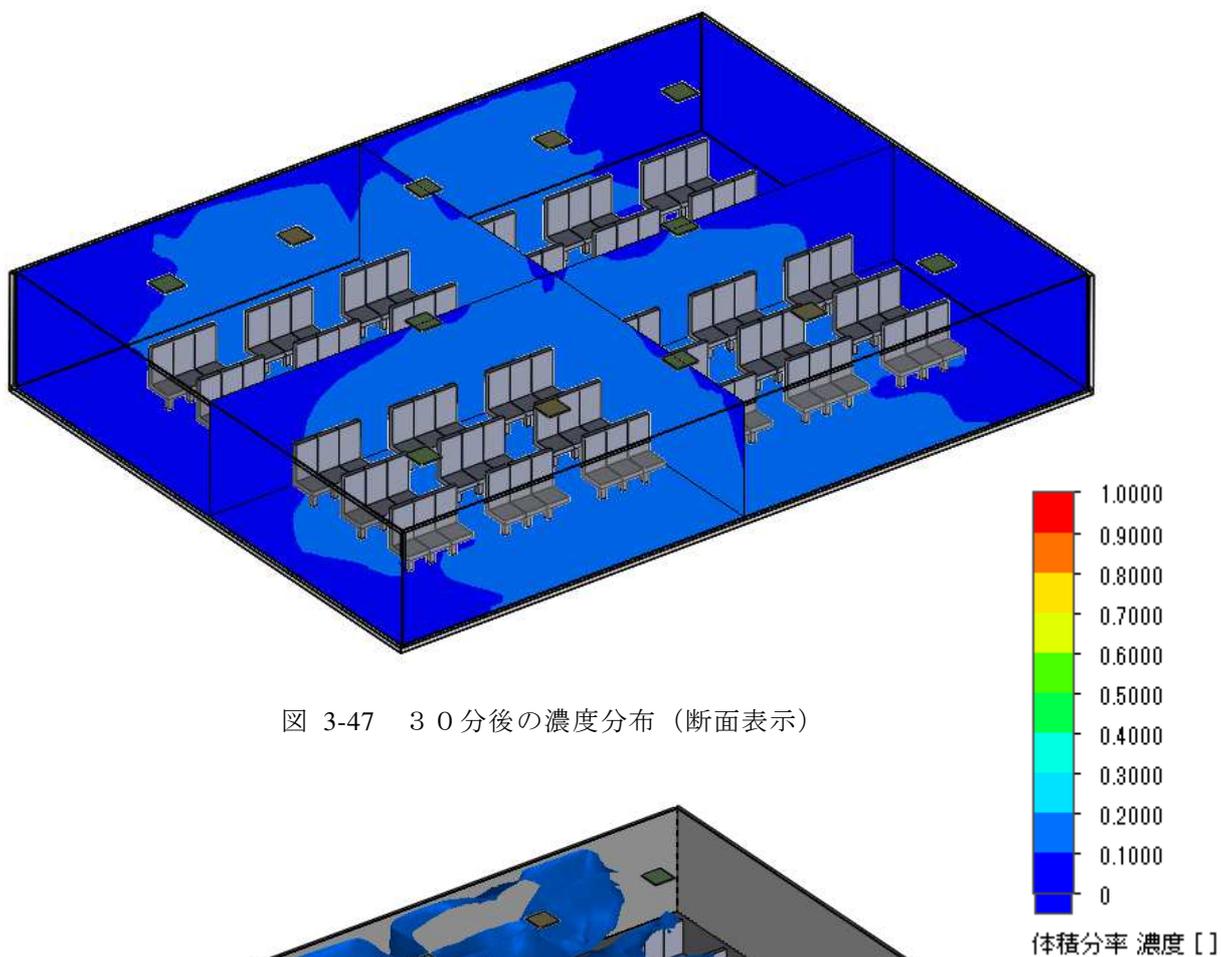


図 3-47 30分後の濃度分布（断面表示）

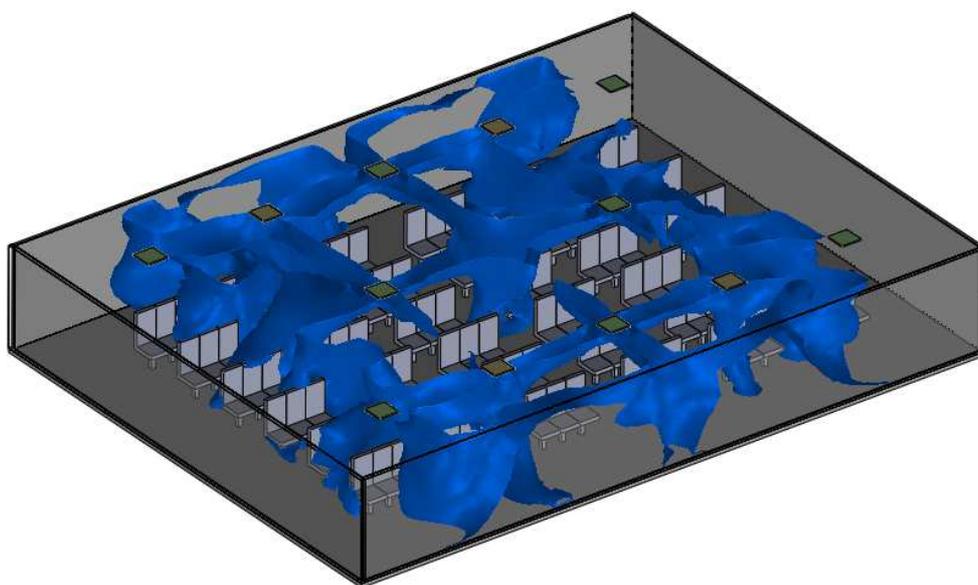


図 3-48 30分後の濃度分布（等値面表示）

(2) 乗船率 50%

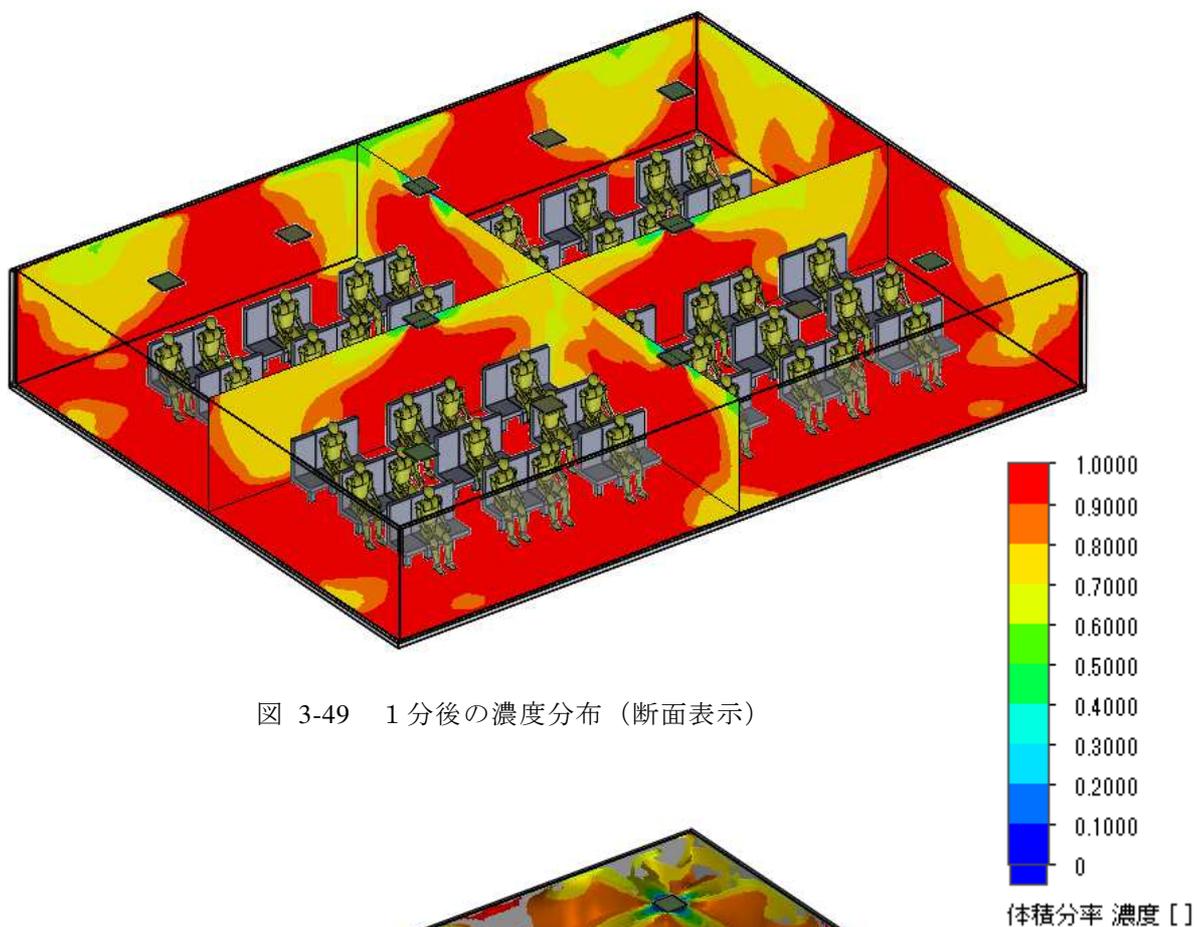


図 3-49 1分後の濃度分布（断面表示）

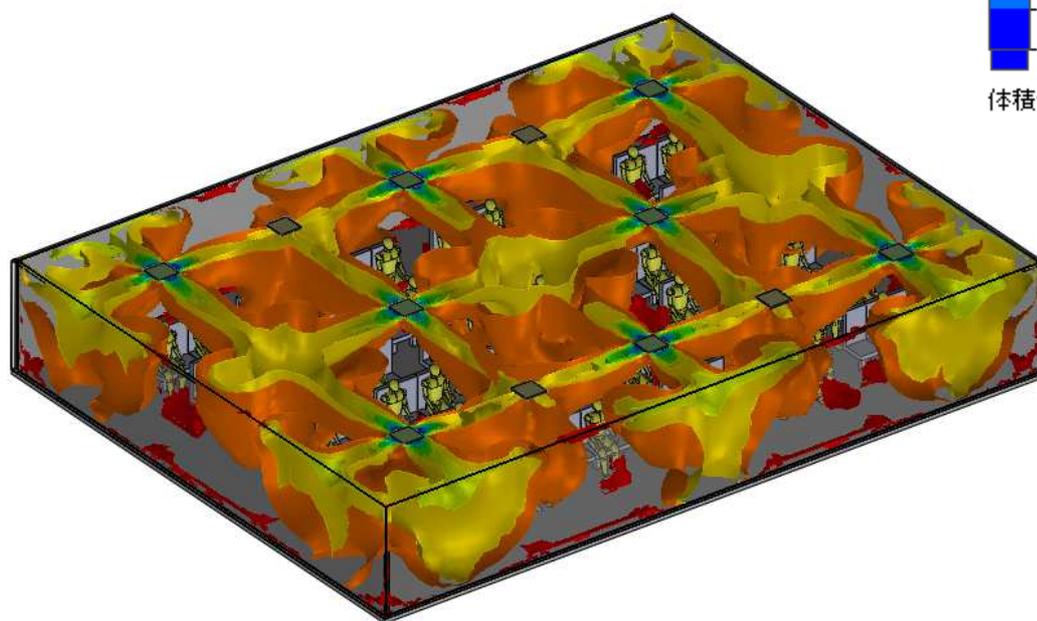


図 3-50 1分後の濃度分布（等値面表示）

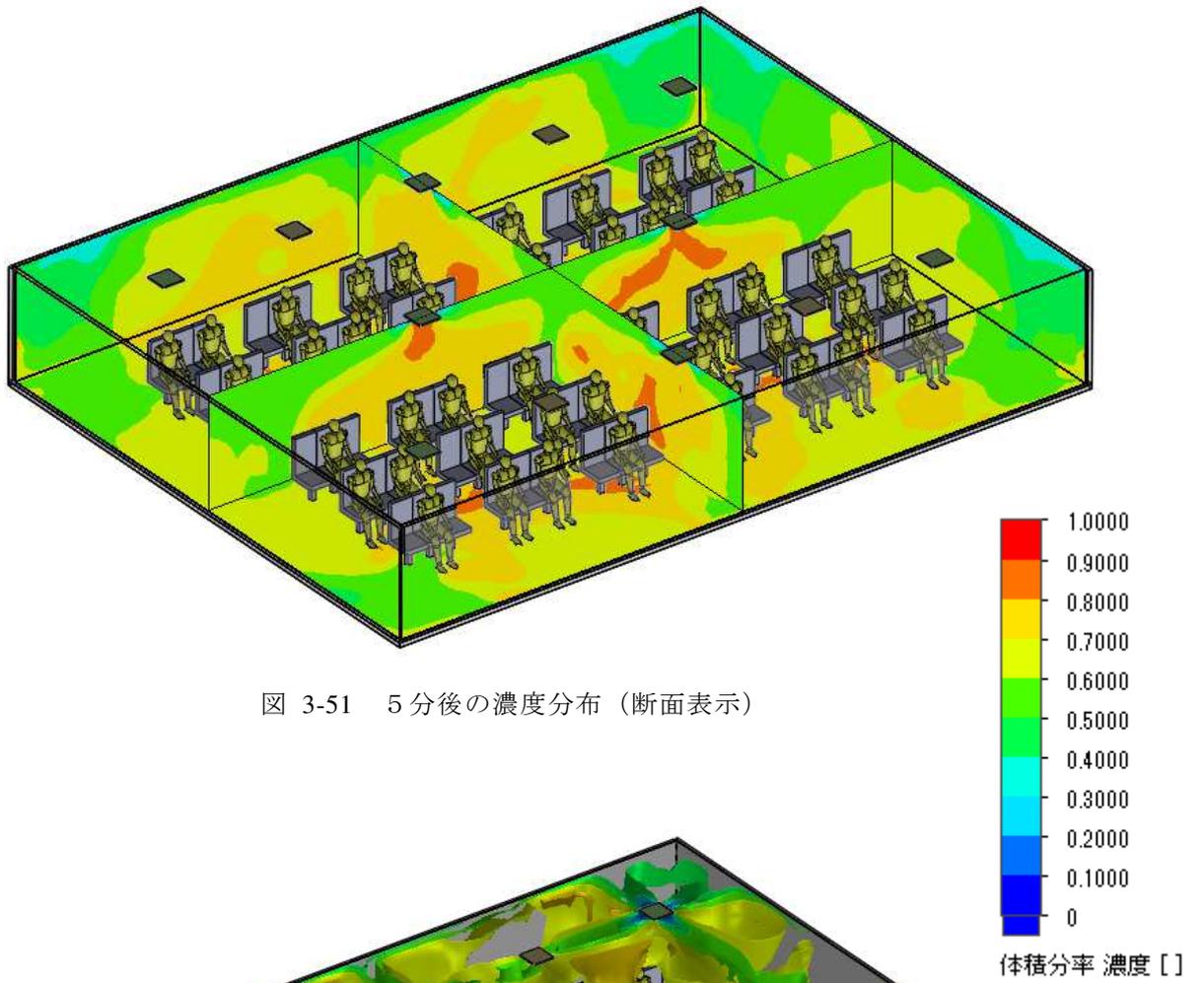


図 3-51 5分後の濃度分布（断面表示）

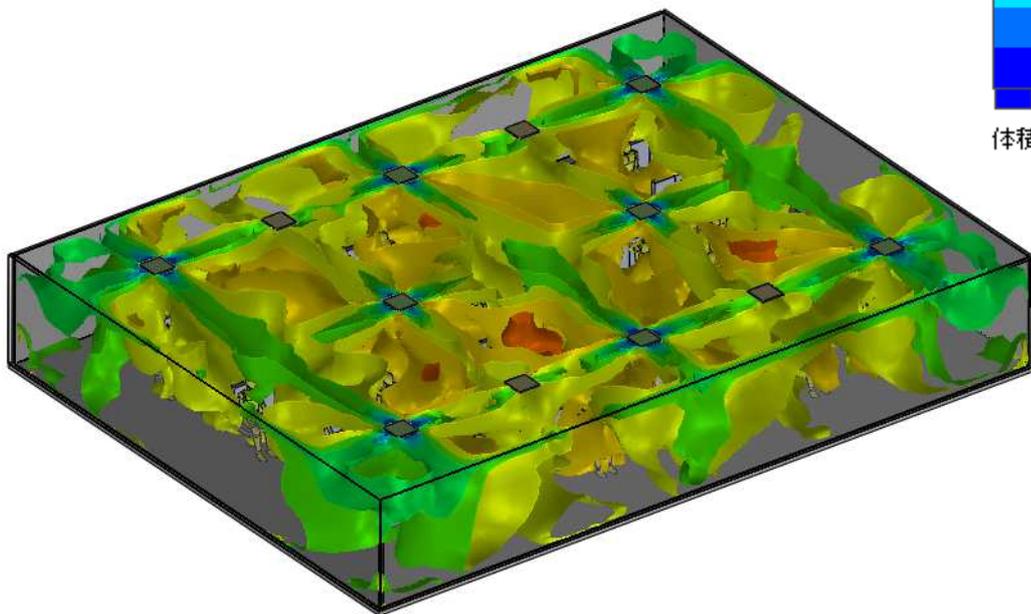


図 3-52 5分後の濃度分布（等値面表示）

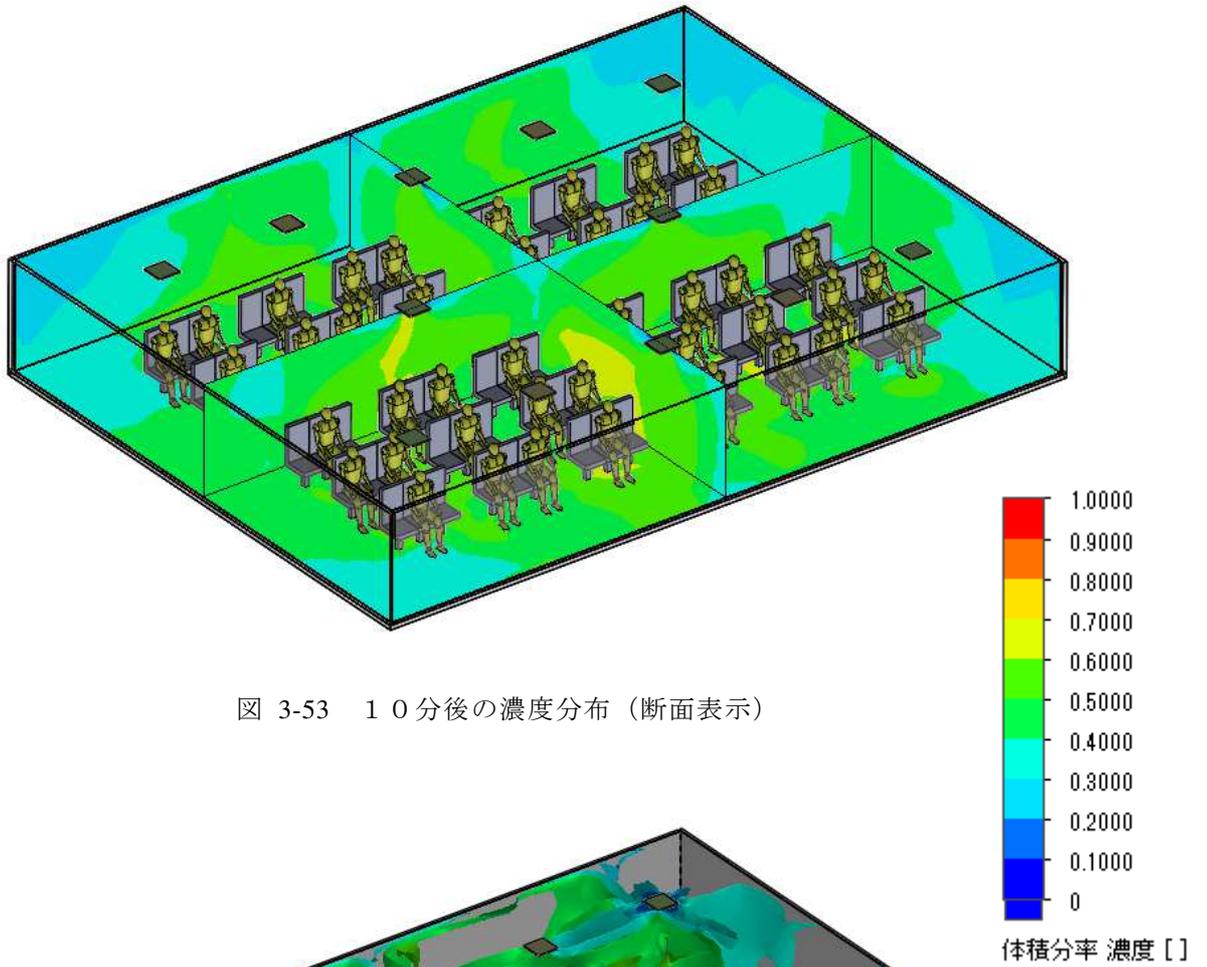


図 3-53 10分後の濃度分布（断面表示）

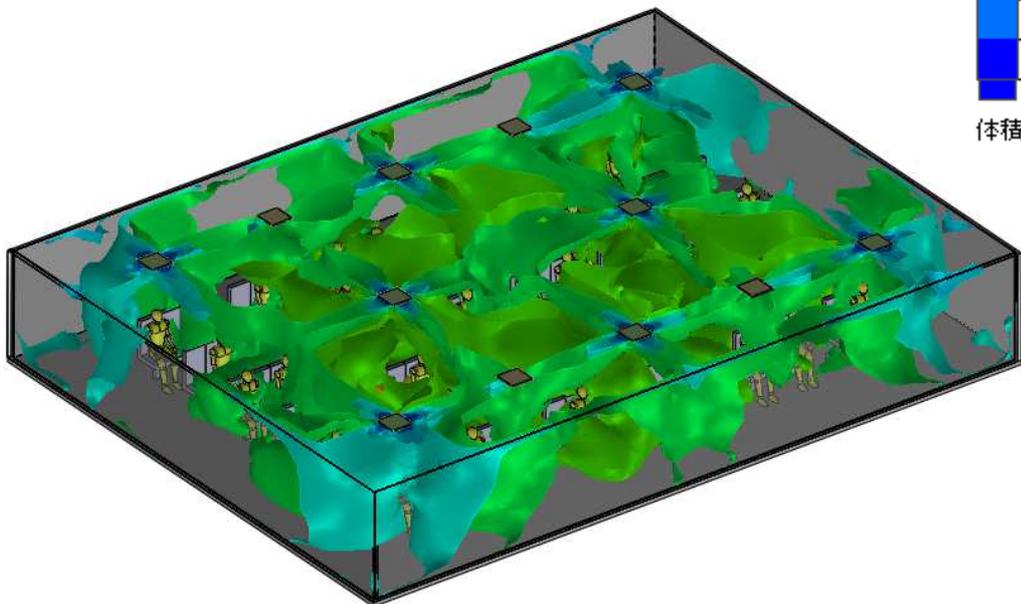


図 3-54 10分後の濃度分布（等値面表示）

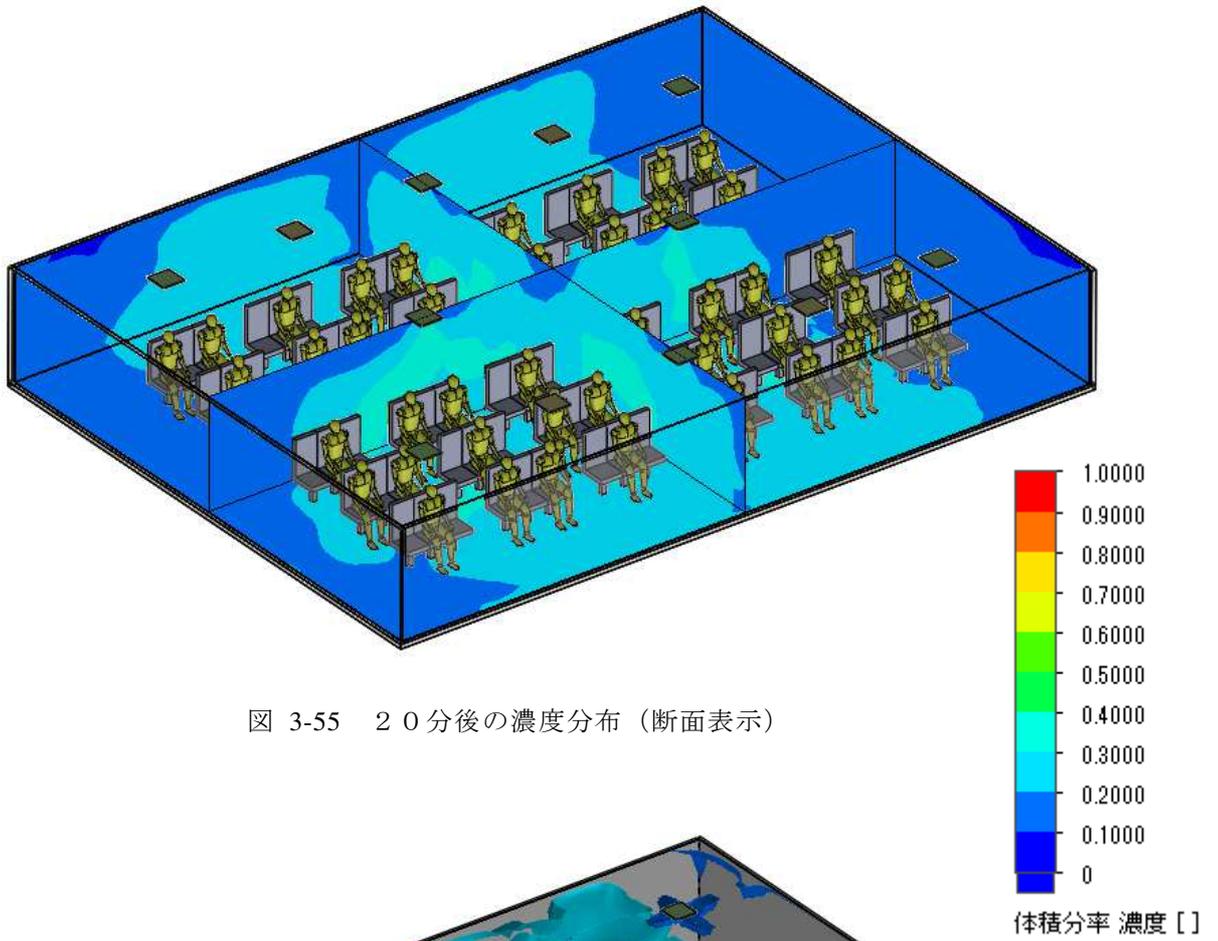


図 3-55 20分後の濃度分布（断面表示）

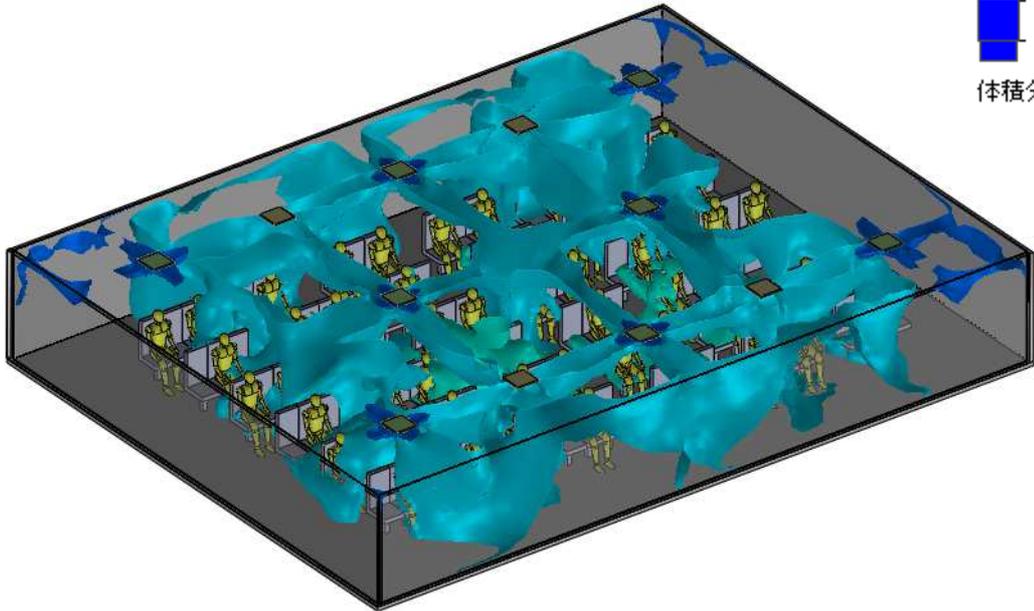


図 3-56 20分後の濃度分布（等値面表示）

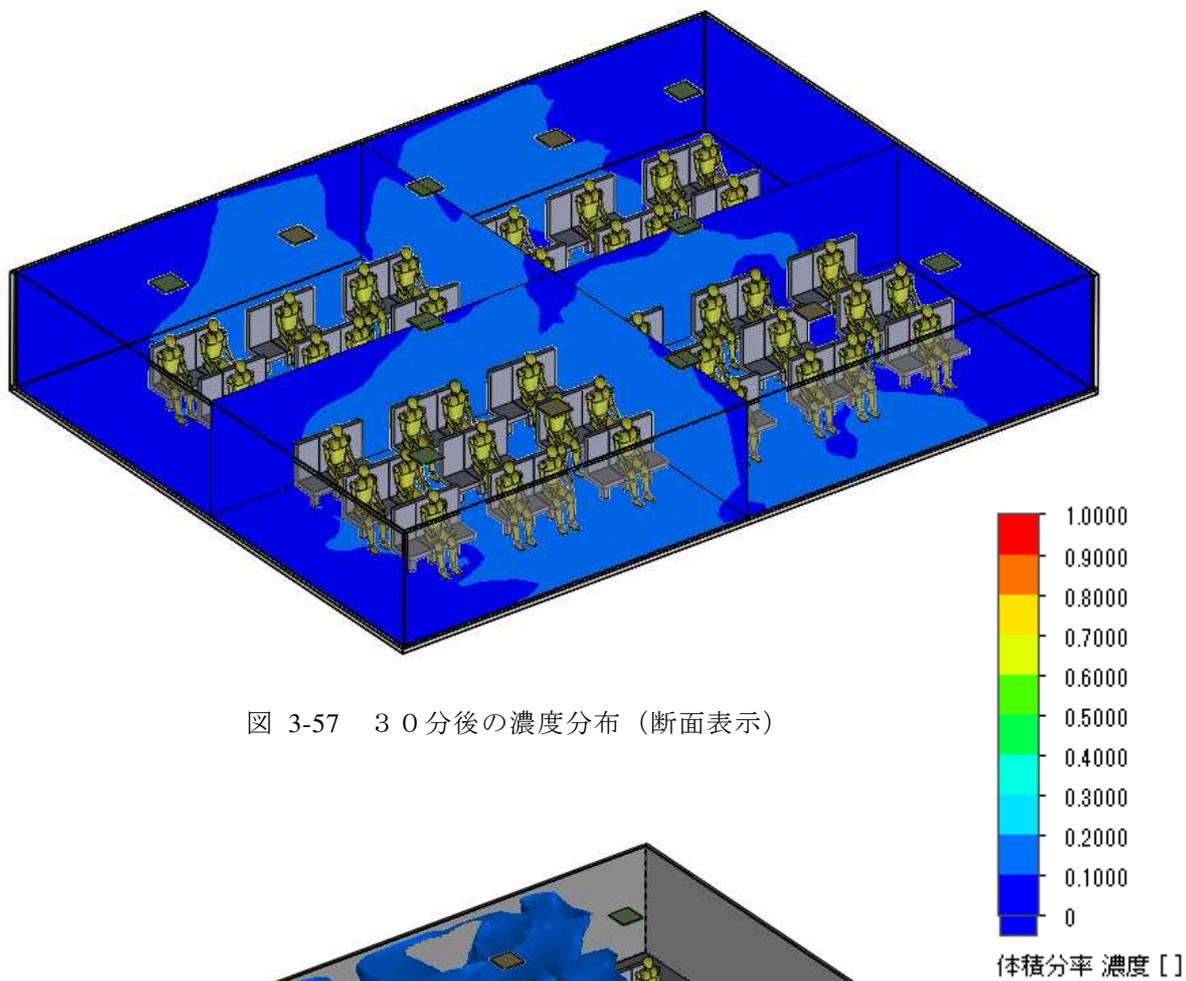


図 3-57 30分後の濃度分布（断面表示）

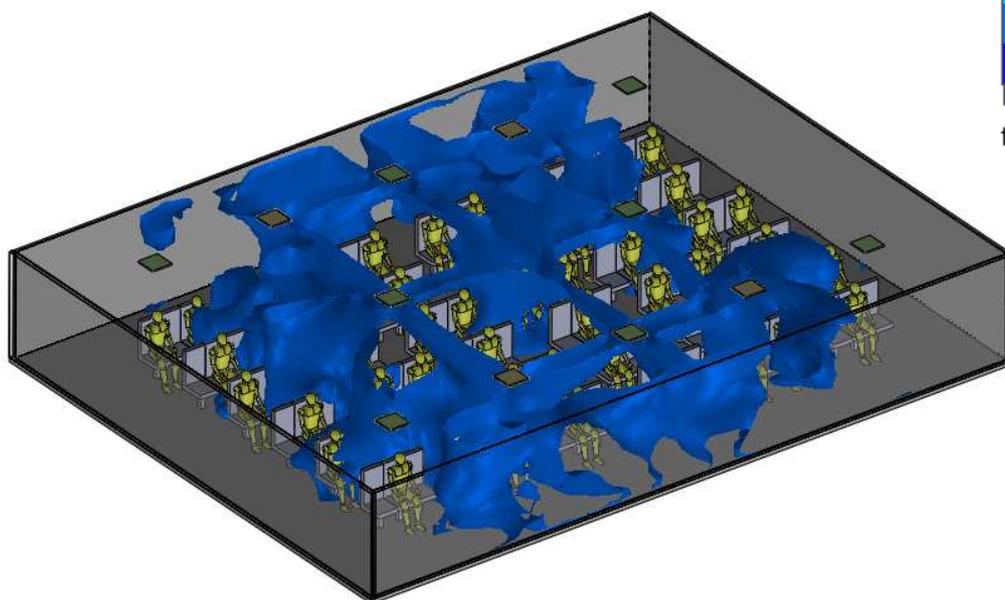


図 3-58 30分後の濃度分布（等値面表示）

(3) 乗船率 100%

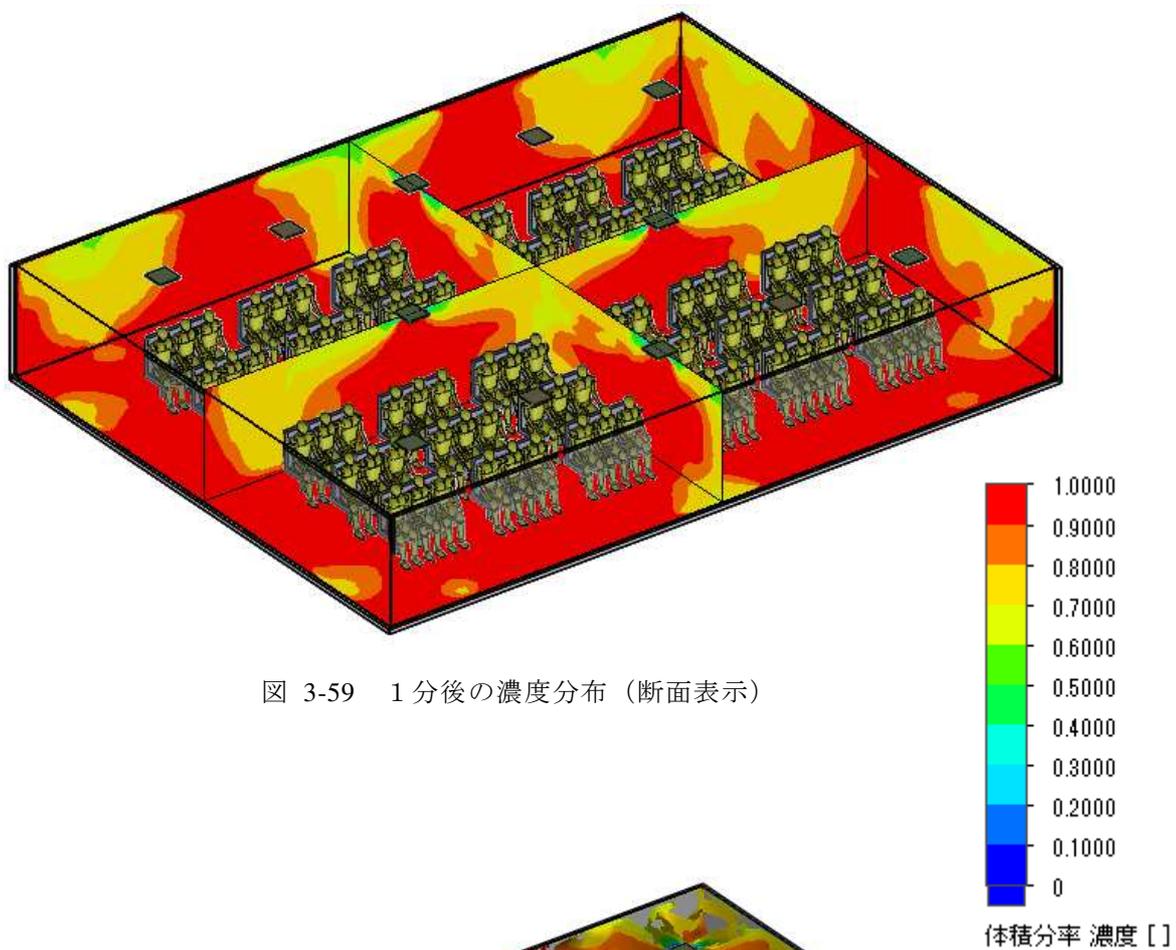


図 3-59 1分後の濃度分布（断面表示）

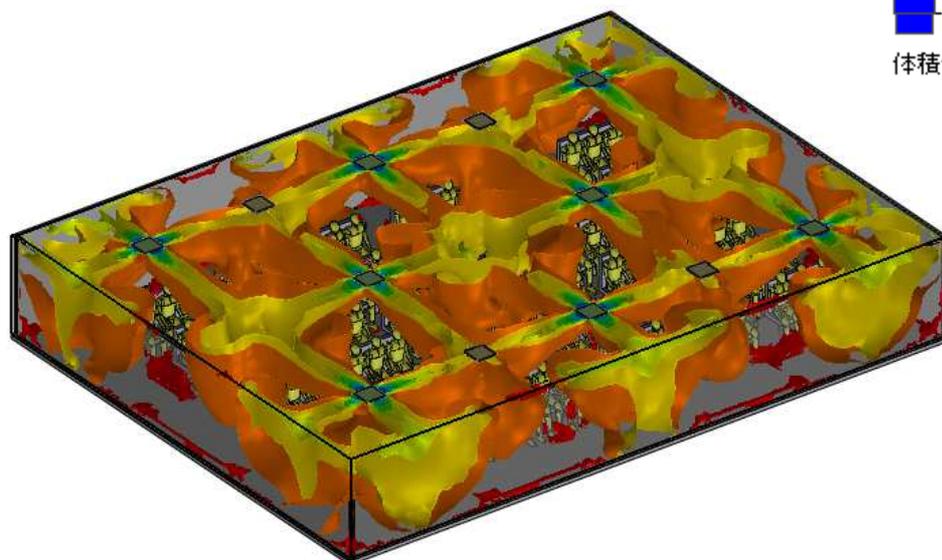


図 3-60 1分後の濃度分布（等値面表示）

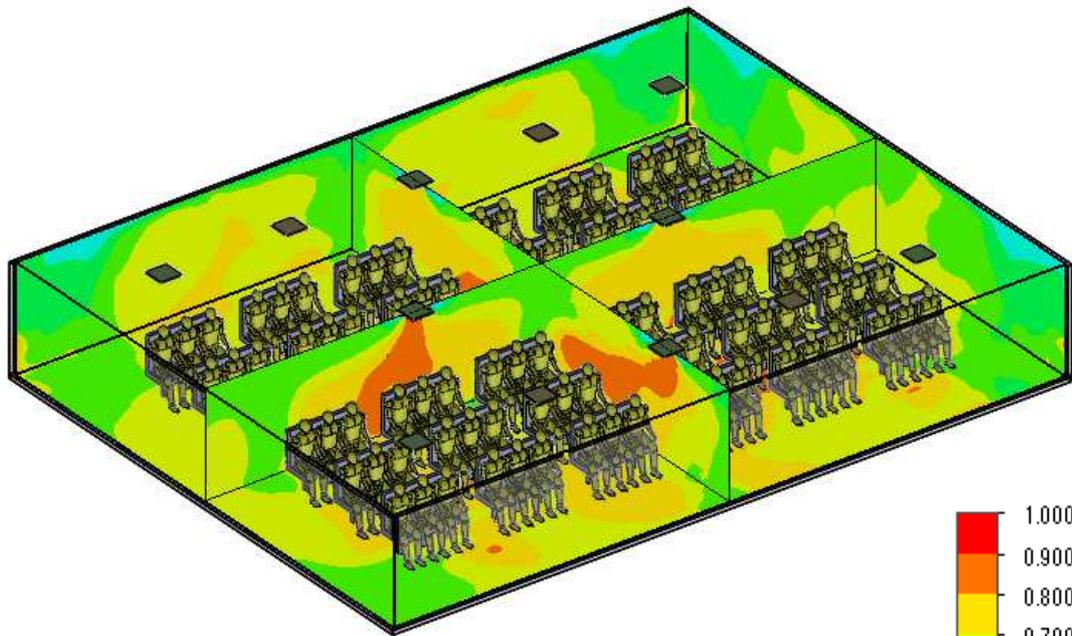


図 3-61 5分後の濃度分布（断面表示）

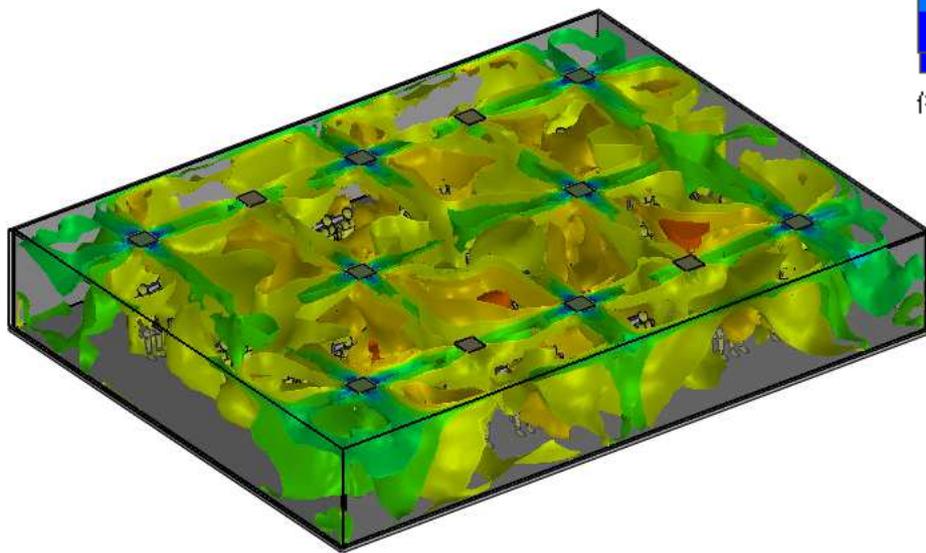
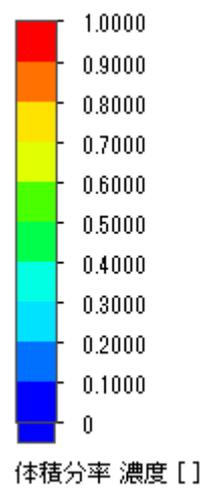


図 3-62 5分後の濃度分布（等値面表示）

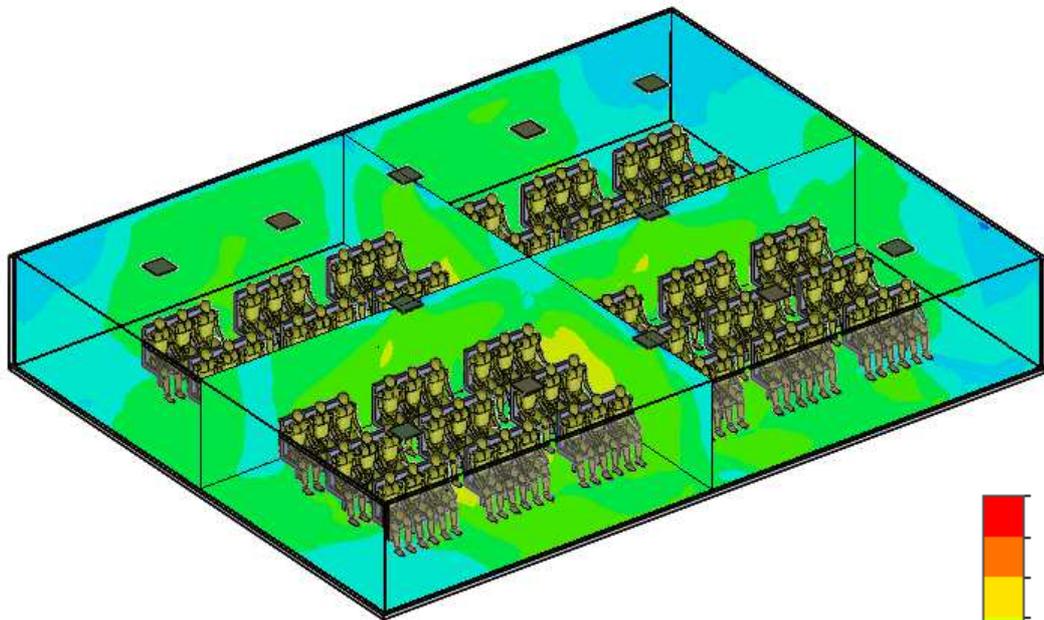


図 3-63 10分後の濃度分布（断面表示）

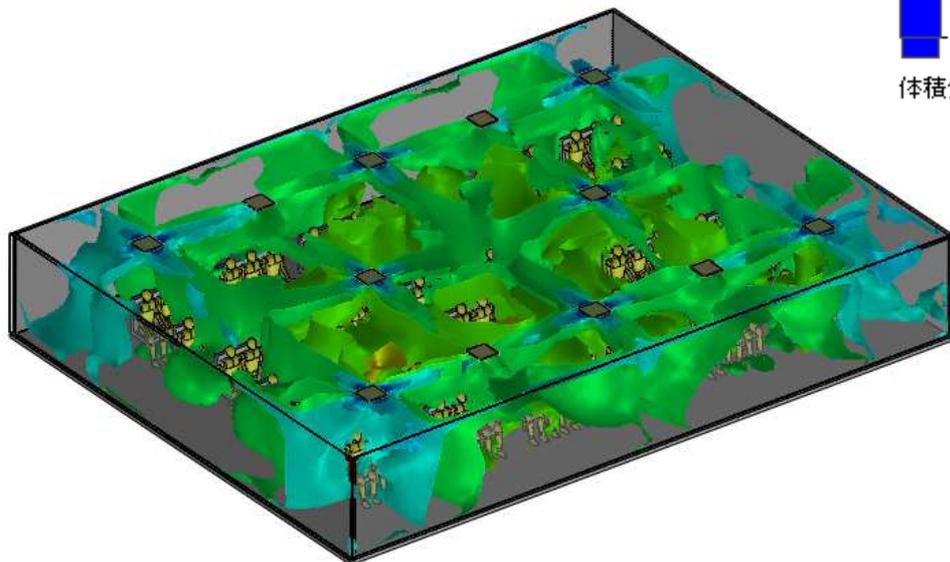
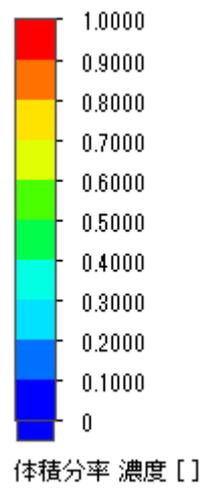


図 3-64 10分後の濃度分布（等値面表示）

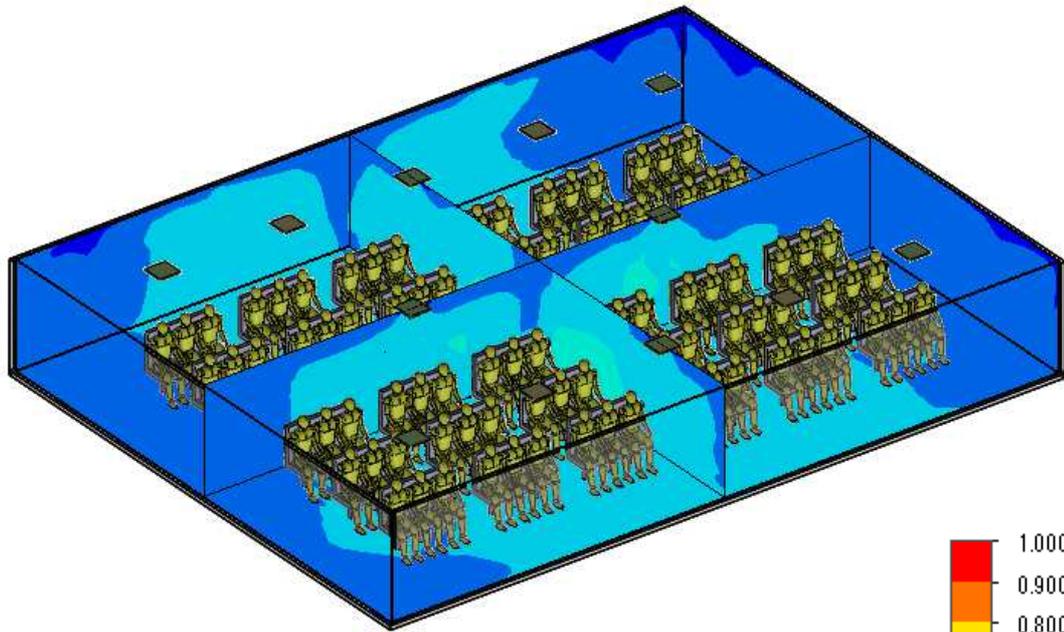


図 3-65 20分後の濃度分布（断面表示）

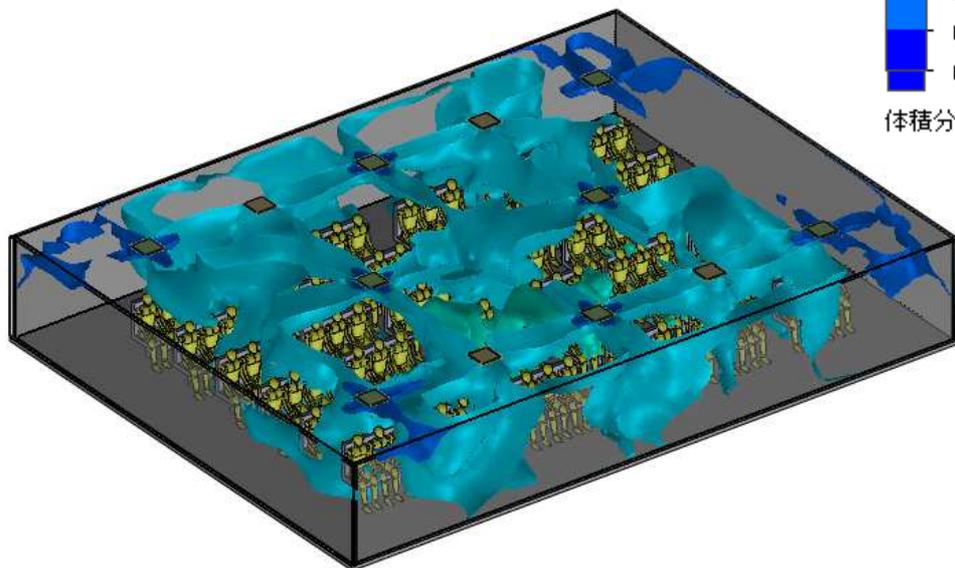
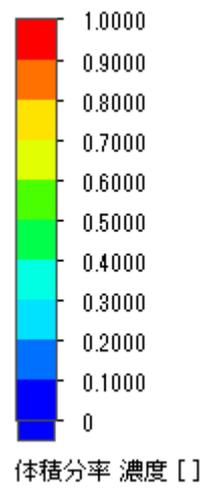


図 3-66 20分後の濃度分布（等値面表示）

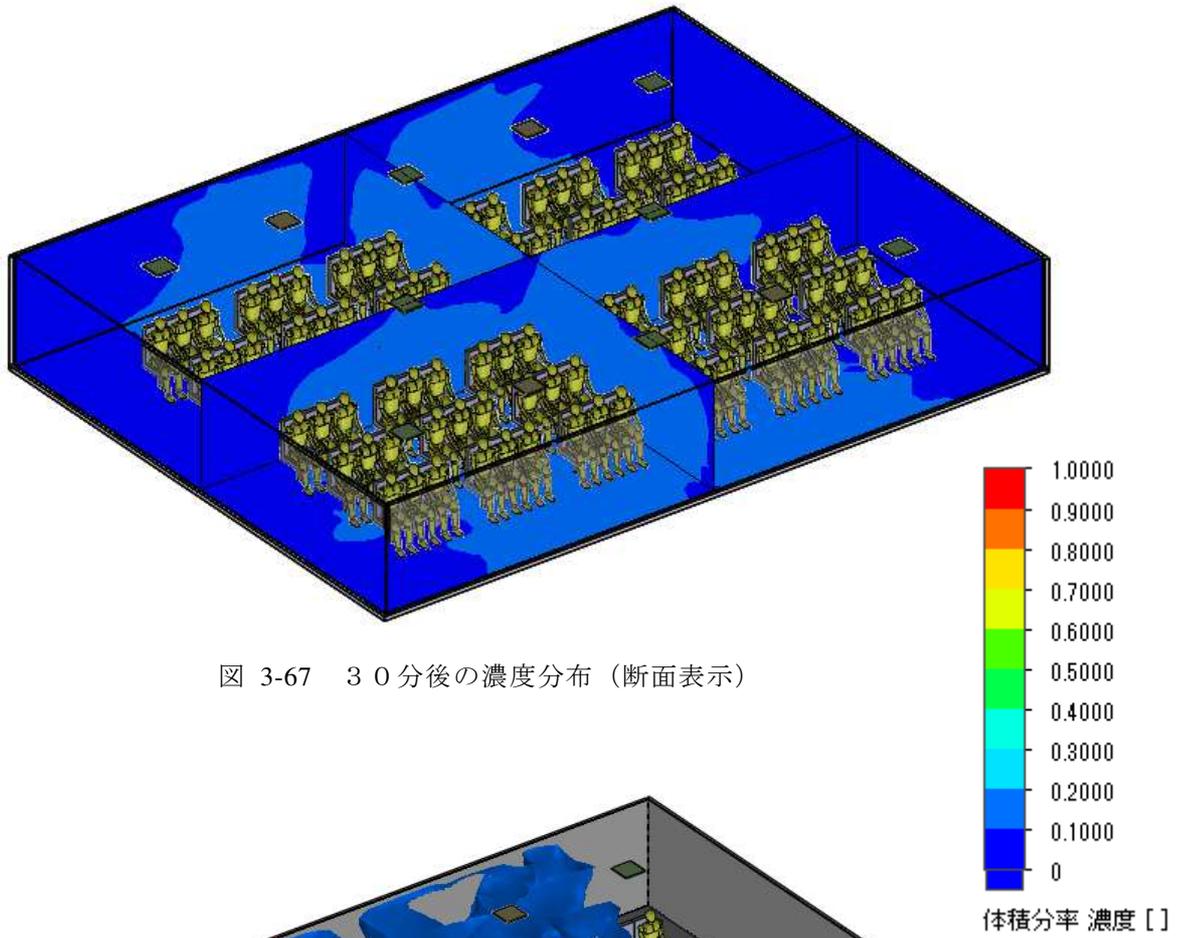


図 3-67 30分後の濃度分布（断面表示）

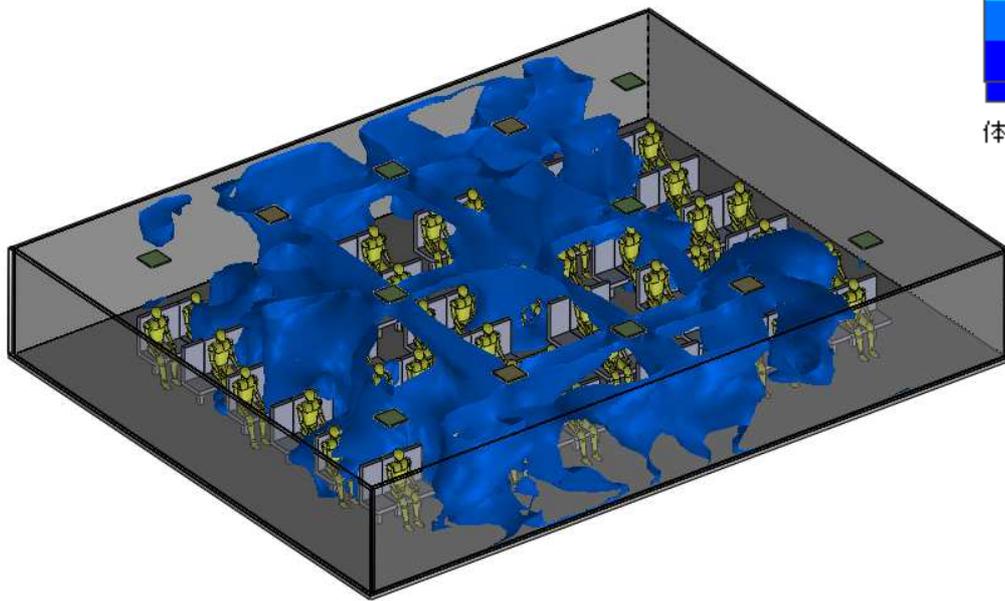


図 3-68 30分後の濃度分布（等値面表示）

4. まとめ

4.1. 濃度分布の時間変化

本業務で設定した換気流量は1時間当たり換気回数5回を想定した流量である。流入した外気が室内の空気と混じらずに古い空気を押し出すような理想状態であれば、12分で室内の空気を完全に入れ替える事ができ濃度0になるはずであるが、実際の現象は古い空気と新しい空気が混ざりながら空気の入れ替えが行われる。つまり、古い空気が排出される際に、新しい空気も排出されてしまう状況が発生している。

今回の解析では、ケース1とケース2のいずれの客室でも、約30分～40分程度で古い空気が新しい空気に入れ替わる事が分かった。

4.2. 換気効果への影響

(1) 乗船率の影響

今回の作業で、乗船率を0%,50%,100%と変化させて計算を実施したが乗船率の相異なる濃度分布の時間変化の差はほとんど発生していない事が分かった。

(2) 客室サイズの影響

客室サイズが大きくなると若干空気の入れ替わり時間が長くなるが、時間差は10分程度であり、大きな差ではないと考える。各ケースで空気が完全に入れ替わる時間を下表に示す。

表 4-1 空気が完全に入れ替わる時間

客室種別	乗船率	人数	入替わり時間
ケース1	0%	0人	32分
	50%	27人	32分
	100%	54人	32分
ケース2	0%	0人	42分
	50%	54人	42分
	100%	108人	42分

(3) コロナウィルス感染リスクに対する評価

現在の客室の換気設定は、1時間に換気回数5回となっている。

今回の対象とした2種類の客室サイズと換気流量を下表に示す。

表 4-2 客室の概要

客室種別	大きさ	体積	換気流量
ケース 1	8m×12m×2.5m	240m ³	1200m ³ /h
ケース 2	16m×12m×2.5m	480m ³	2400m ³ /h

上記の値を乗車人数で除して一人当たりの換気量を計算すると下記のような値になる。

表 4-3 換気回数から計算される一人当たりの換気量

客室種別	乗船率	人数	一人当たりの換気量
ケース 1	50%	27 人	1200/27 = 44.4 m ³ /h
	100%	54 人	1200/54=22.0 m ³ /h
ケース 2	50%	54 人	2400/54 = 44.4 m ³ /h
	100%	108 人	2400/108=22.0 m ³ /h

空気調和・衛生工学会から公開された「新型コロナウイルス感染対策としての空調・衛生設備の運用について」では機械換気時において、「一人当たりの換気量：30 m³/h 以上」を推奨値とし、これを満たすことで「換気の悪い密閉空間」に当たらないとしている。上記の結果から、定員 50%の乗船率の場合は、ケース 1、ケース 2ともに、一人当たりの換気量が 44.4 m³/h となり、推奨値を満足していることが分かる。一方、定員 100%の乗船率の場合、両ケースとも一人当たりの換気量が 22.0 m³/h となり、推奨値を満たさない。

しかし、今回の調査では、排気箇所から出た空気と同じ量が吸気箇所から流入しているという条件で実施しており、エアコン等の強制換気装置、窓開けによる効果を考慮していない。そのため、エアコンの活用、窓開け等で空気循環を高めることにより、室内の換気回数を 7 回/h 以上とすることで、乗船率 100%の場合にも推奨値を満足することができると思われる。