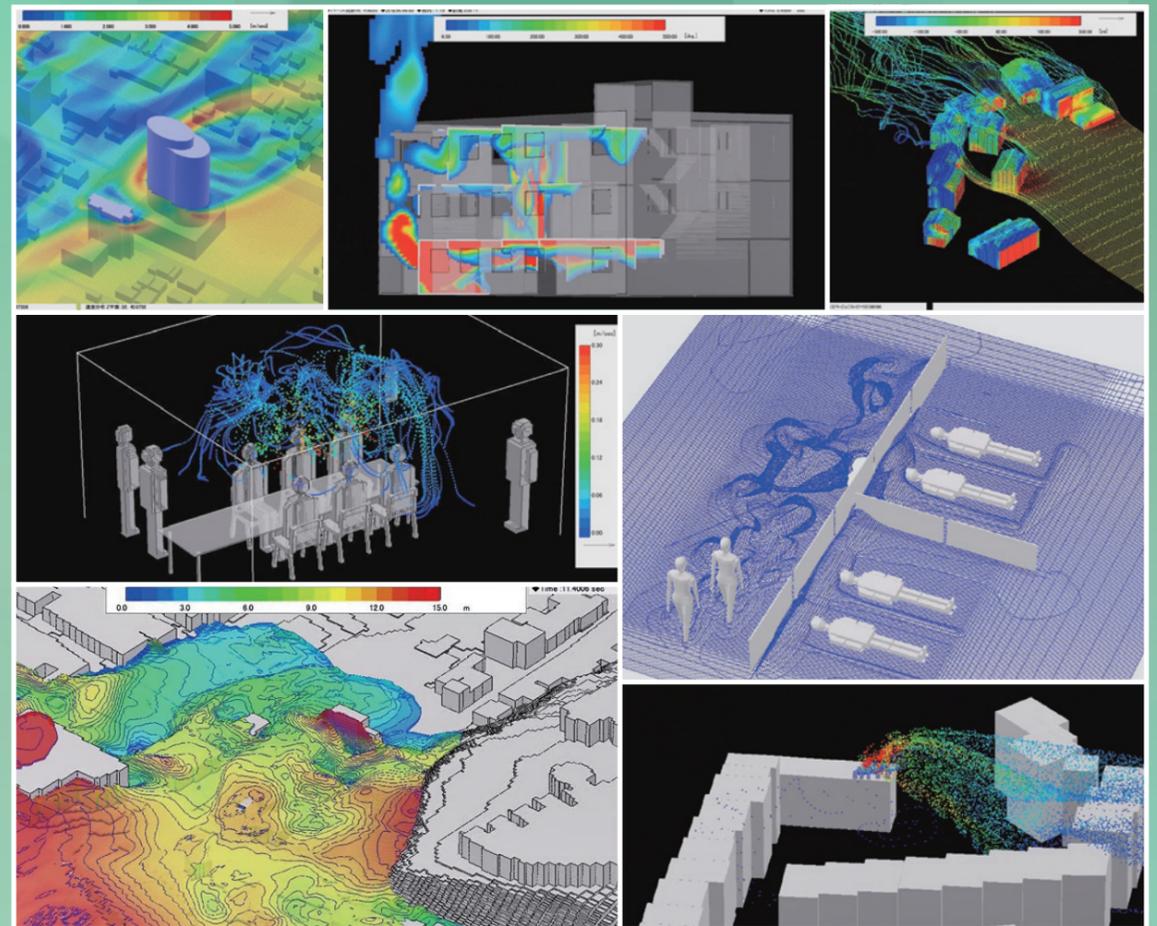


# 解析クローズアップ



# クローズアップ風環境シミュレーション



## WindPerfect による風環境・ビル風シミュレーション

### 目的

設計段階において市街区に建つ高層ビル周辺の風環境を予測し、配棟計画の検討に資するのは極めて一般的になっています。周囲の建物の状況や植栽計画との関連で採算性の高いプランを作成する上で、風洞実験に比べて正確で費用が掛からず、解析期間の短い数値シミュレーションは、設計検討の必須技術となっています。

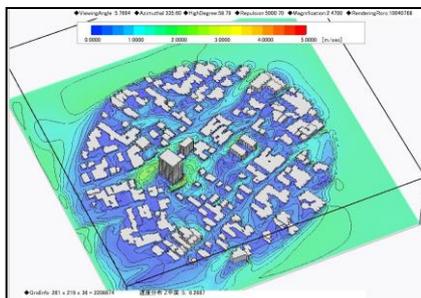
### ビル風・風環境シミュレーションのポイント

先ず何の目的でシミュレーションを行うのか考える必要があります。大きな建物が新しく建ったからには、周辺に風の強くなる所と弱くなる所が出来ます。問題はその風況の変化が居住者の受忍限度を越えるかどうかでして、それを周辺住民・自治体・お施主に説明する必要があります。その際に分かりやすいビジュアルとしての精度の高い評価は大きな説得力を持ちます。弊社の風害ランク評価は、風害裁判の証拠に採用されるほど信頼性が高いものですが、その成果を左右するのは解析担当者の技量と経験です。弊社は住民説明会・裁判に対応出来る豊富な実績を有しています。簡単そうに見える風環境シミュレーションは、実はプロフェッショナルの独壇場です。

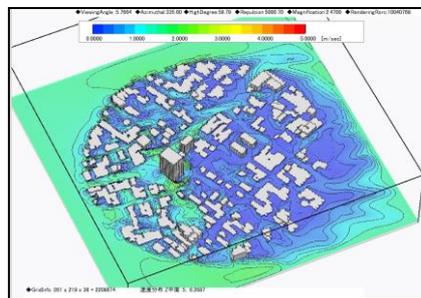
## 風環境・ビル風シミュレーションの実際

### ◆某市街地風環境シミュレーション

頻繁に行われる風のシミュレーションは、解析対象となる当該建物の有無によりどのように周辺の風況が変化するか調べるものです。主にこうした解析は以前は卓越風（当地で出現頻度の高い風）について実施される事が多かったですが、小規模な案件でも訴訟が起こる現在では、本格的な風害評価を求められます。



風速分布 風向 ENE

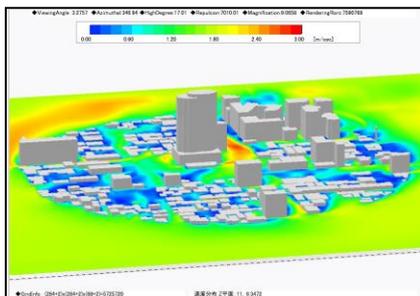


平面風速分布 風向 SSW

2つの風向での風況の変化を表しています。高層建物が道路の交差点近くに位置しており、風向によって周辺の風の乱れ方が異なっている事に注目。

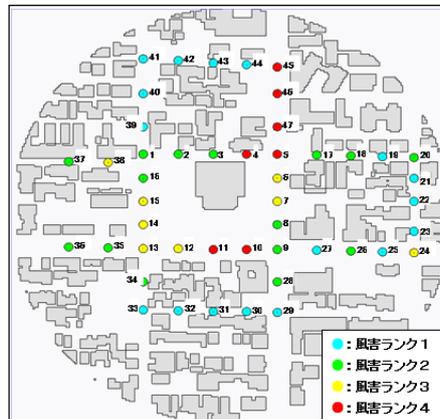
### ◆高層ビル 風害シミュレーション

ニーズの高い風のシミュレーションは16方位総てについてシミュレーションを行い結果データに対して統計処理を行って風害ランク評価を求めるものです。日平均風速を用いる風工学方式と日最大風速を用いる村上式の2つがあり、風害評価で頻繁に用いられ裁判資料にも採用されます。建築前・建築後の評価の比較と、適切な対策立案が重要となります。



平面風速分布 風向 SW

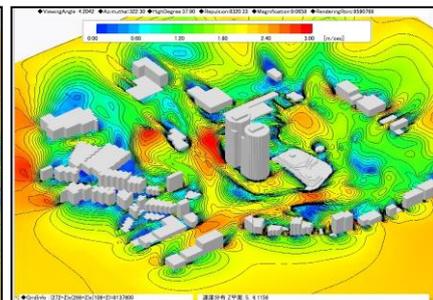
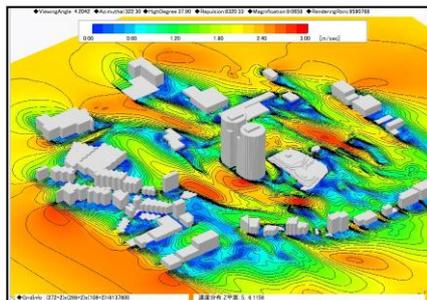
評価点は敷地内外の重要箇所や周辺道路路上に置きます。ランクは4段階で高いランクでは居住不適とされます。



風害ランク評価 村上式

### ◆都心風況シミュレーション

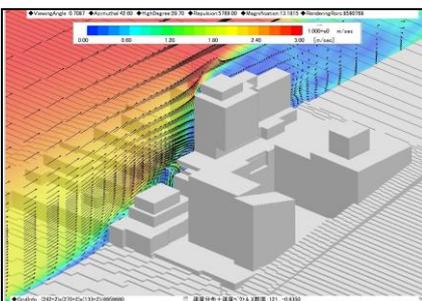
高層建物が建設されるのは大都市などの市街地が多く、その場合周辺には同様の高層建物が有る事があります。建物に与える風については風上側構造物による遮蔽の影響が大きく、解析範囲を大きく取って周辺の構造物をきちんと再現する必要があります。風のシミュレーションが年々大規模になる理由です。



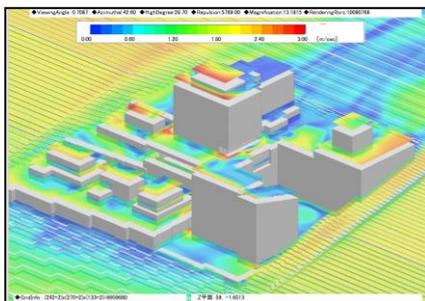
解析対象建物を中心に、通常は対象建物の軒高Hに対して2Hの範囲を解析モデルとして再現。2H外に大きな建物が有った場合、考慮が必要である。

### ◆傾斜地環境シミュレーション

建物は平坦地ばかりに建設されるものではなく傾斜地・法面にも建設されます。一般に傾斜を駆け上がる風は風速が強くなり、当該建物周辺の風況を更に悪化させます。これは平坦地での風現象とは異なるので、適切に評価する必要があります。場所により起伏が多い場合は更に評価が難しくなります。



断面風速分布

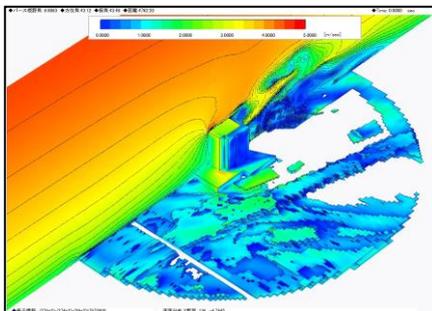


地表面 1.5m 上方風速分布

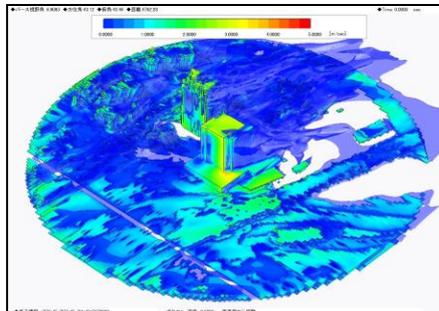
断面風速分布から風が傾斜面を駆け上がる様子が分かる。風環境評価は地表面1.5mで行うので、当該平面に対する分布を可視化する機能が必要となる。

### ◆高層ビル市街地風環境解析

地方都市で周囲にあまり建物がない場所で、大きな高層建物が建つ場合があります。このような場合、建物が建つ事による風環境の悪化が著しい事が多いので、風害ランク評価には慎重を期す必要があります。シミュレーションによる近隣と離隔距離を大きく取る、効果的な植栽配置を実施するなどの対策が効果を発揮します。



断面風速分布+表面風速分布

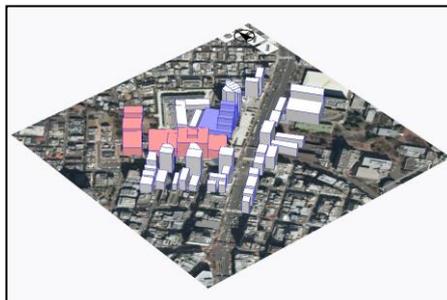


表面風速分布+風速等値面

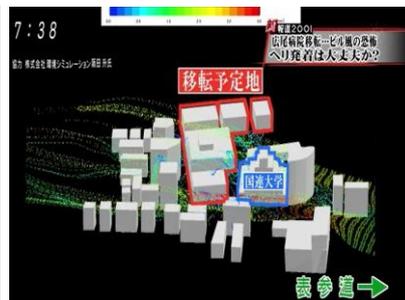
高層建物後方では、風が大きく乱れている様子が分かる。また高層建物直近の角部では、風速が極端に速い部位がある事が予想される。

### ◆テレビ放映動画

風害問題に関する一般の方の関心は高く、弊社にテレビ局からの取材があります。本件は2016年10月全国放映の、フジテレビ「新報道2001」の一コマです。青山地区に病院施設が建った想定で、ヘリコプター離発着に対する影響に関して、風工学の観点から検討しました。風向によりヘリコプターの着陸に影響が有る事が示唆されました。



解析モデル（下敷き機能で作成）



テレビ放映映像（フジテレビ）

国道246号線沿いの青山地区の一角に、想定した病院をモデル化して作り込んだ（赤色）。影響があると考えられるいくつかの建物を下敷き機能を利用して立ち上げ、解析は一日足らずで終了した。

# クローズアップ風荷重風圧シミュレーション

## WindPerfectによる風荷重・風圧シミュレーション

＜建築物周りの流れの構造＞

建築構造物に代表される立方体または直方体形状の周りの流れはどのようになっているのでしょうか。

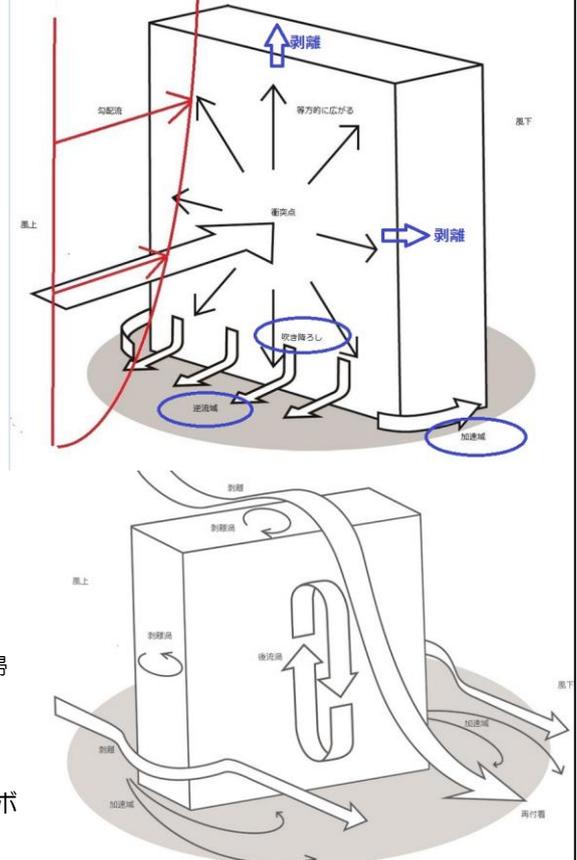
建物前方に関しては、

- ・建物アプローチ側に風が当たる
- ・風が当たった場所から、流れが放射状に拡散する
- ・真下に向かう流れは反転して逆流域を形成する
- ・斜め下方への流れは、建物角部を起点に等加速域を形成する
- ・側方への流れは建物側方角部で剥離して渦流となる
- ・上への流れも建物軒高角部で剥離し大きな渦流を形成すると、かなり複雑な流れになっています（右方上図参照）。

建物後方に関しては、

- ・真後ろでは穏やかな逆流域を形成
- ・地表付近では加速域を通過した流れが減速して後ろに回り込む
- ・側方では剥離した流れが後流に巻き込まれ徐々にベキ乗則に復帰
- ・上方でも剥離した流れが後流に巻き込まれる（右方下図参照）。

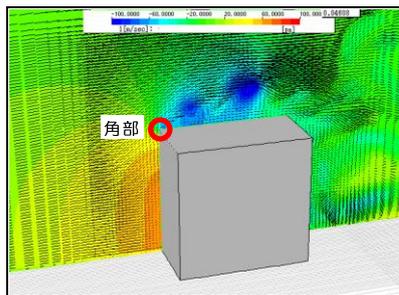
建築構造物は角があるので、一般に航空機や自動車などのブラフボディ周りの流れよりも、構造が複雑で解くのが難しくなります。



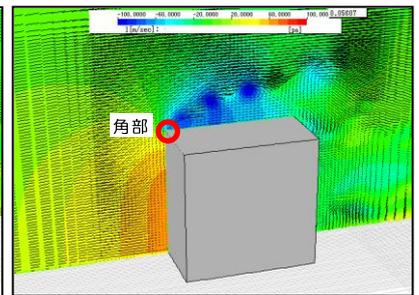
## 風環境・ビル風シミュレーションの実際

### ◆直方体構造物の風圧シミュレーション

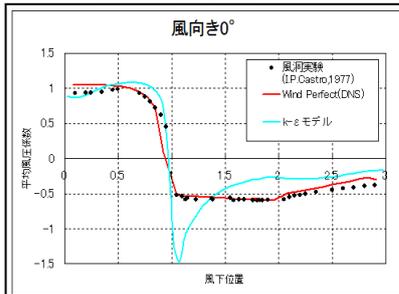
都市の大規模ビルディングは直方体をベースにした形状が多いのですが、その直方体が曲者でして、角部は流体力学的な特異点になっており、そこから渦が放出します。（右図参照）この渦をいかに再現するかが風圧解析の本質に繋がっています。一般に風圧解析には乱流モデルとして DNS や LES が使われますが、これは RANS だと流れ場を定性的にすら再現出来ないからです。右の2つのグラフはそれを示していて、DNSでの実験値との一致は十分です。それから、風圧解析には陰解法は全く無力なので、それにご注意頂いた方が良いでしょう。



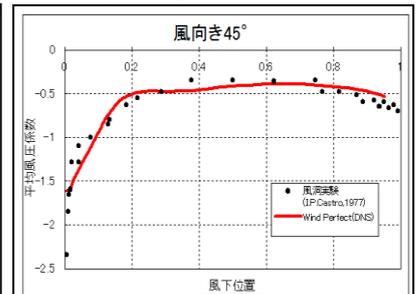
断面風圧分布 0.047sec



断面風圧分布 0.057sec



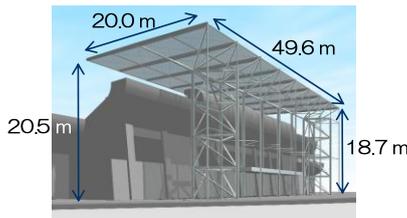
実験とシミュレーションの比較 0°



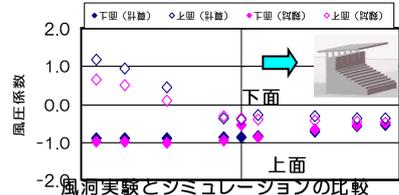
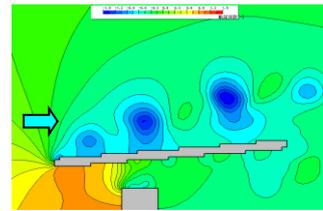
実験とシミュレーションの比較 45°

### ◆スタジアム屋根の風圧シミュレーション

スタジアム屋根のような大規模片支持式架構では風荷重が支配的です。ここでは風圧シミュレーションの結果を風洞実験で検証しています。風の向きや屋根面の上下によらず、両者の風圧値は右図のように良い一致を見えています。これは数値シミュレーションで風荷重を自然に再現できる事に他なりません。屋根端部からの負圧渦の放出も揚力値の発生を合理的に説明できます。



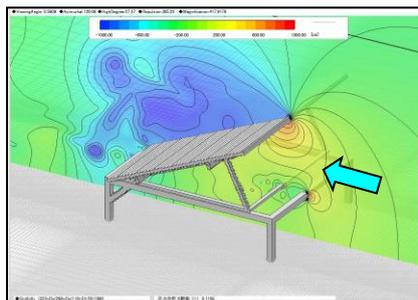
比較的小規模な風洞を用い、屋根勾配、背面開口率、観客席勾配などを合わせた部分模型による一様流下での風洞試験を実施。



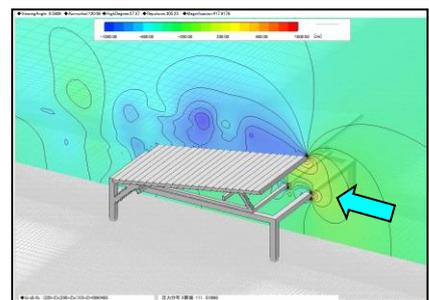
風洞実験とシミュレーションの比較

### ◆太陽光パネル風荷重解析

太陽光発電パネルが強風で飛ばされるのがよく報道されます。北からの季節風に対して仰角が付いたパネルには強い揚力が働きます。仰角の設定や架台の作りこみ方によって、耐用年数が大きく変化するので設計には注意が必要です。



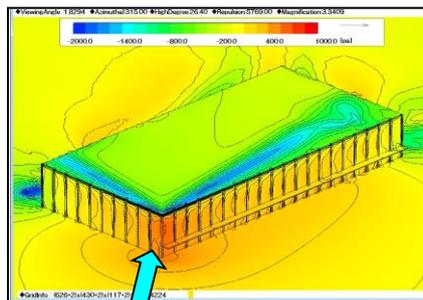
断面風圧分布 仰角 30°



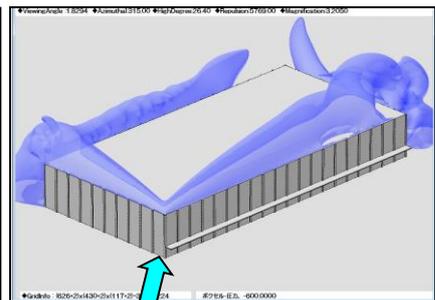
断面風圧分布 仰角 10°

### ◆倉庫建築 風荷重解析

強風が吹いた時、倉庫の外装材の被害がよく報告されます。対策にはどの部位にどのくらいの風圧が掛かるのか評価する必要がありますが、まずは平均風圧を求めましょう。それに安全率を掛ければ当面の設計指針には十分でしょう。



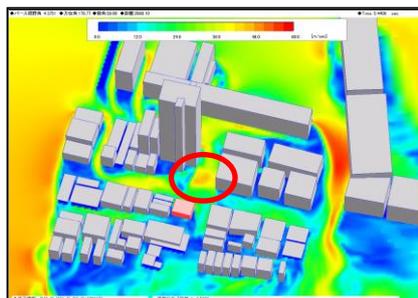
表面風圧分布



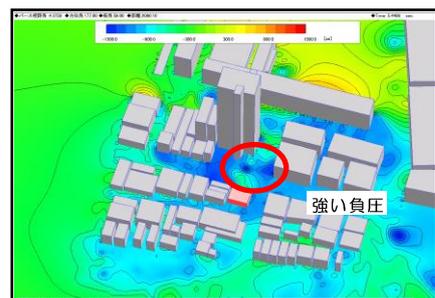
等風圧面 -600Pa

### ◆テレビ放映シミュレーション

2018年の台風21号の被害は甚大でした、弊社の風圧シミュレーションが9月6日のテレビ朝日「サタデーステーション」で全国放映されました。2通りの解析を行い、右図は玉造の住戸（赤色）が損壊した際の風況を解析した結果です。



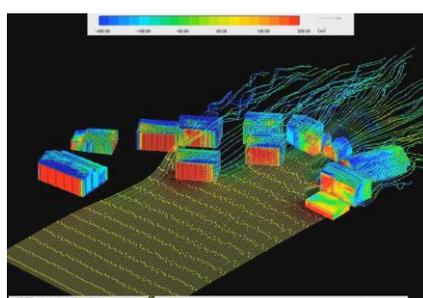
平面風速分布



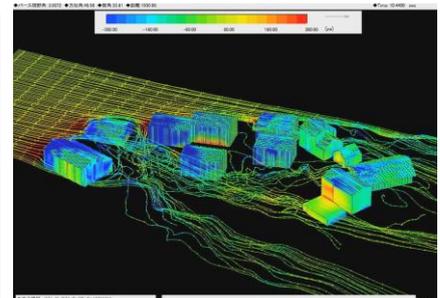
平面風圧分布

### ◆下佐久間強風解析

日経 XTEC2019年12月20日掲載。台風19号による千葉県の甚大な住宅被害について検証した。住戸群をモデル化して、当時の気象データを元に風速・風向を設定。得られた風圧分布は、建物の損壊状況と整合性が取れた。



表面風圧分布 風向：S



表面風圧分布 風向：WSW

## WindPerfect による外部熱気流シミュレーション

冷却塔・チラー・室外機・煙突などの熱発生機器のシミュレーションは、実は簡単ではありません。熱気流の移流拡散予測の精度を確保するには、高温気流への浮力寄与の評価が必須です。熱源からのプルーム熱対流を再現する必要があるからなのですが、自然換気解析（温度差換気）と同様に、きちんと浮力計算を行うと同時に、自然界で起こる風の条件を風工学等の知識に沿って設定する必要があります。外部熱気流のシミュレーションには、建築設備の素養と風工学の知識が両方必要なのです。

弊社はそういった業務を20年以上にわたって実践してきており、様々な外部熱気流問題の解決に尽力してきました。最近では多数の熱源を持つ問題や、複雑な周辺地形・建物群の影響下での移流拡散の評価など、困難さを増した課題に粛々と取り組んでいます。本稿では、弊社の得意とする煙突・冷却塔・室外機などからの移流拡散問題にフォーカスして事例を紹介します。他社では事例を見かけません。

### 外部熱気流シミュレーションのポイント

- 適切な評価指標の利用：風速・温度のみの比較だけでなく、高温域体積や局所吸込み風量なども利用。
- デザイン・対策への提言：熱問題は深刻なトラブルになる事があり、事前の解析で適切な対策を立案。
- 塵埃・有害ガスへの対策：熱だけではなく塵埃や臭気・有害性のあるガスの移流拡散も取り扱い可能。

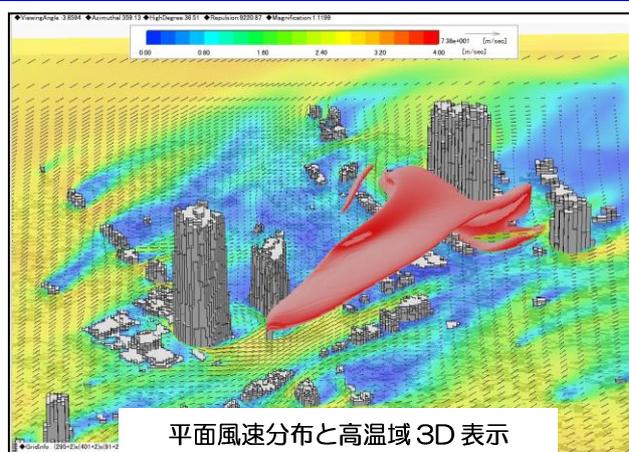
## 外部熱気流シミュレーションの実際

### ◆市街区での換気塔排ガスの移流拡散解析

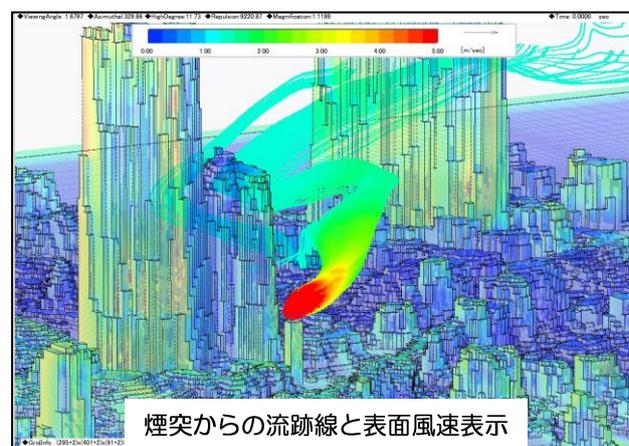
我々が生活する街区に熱排気をとまう施設がある場合、気象条件によっては排気の移流拡散が居住域に影響する場合があります。事前のアセスメントも含めて、熱に暴露されない環境条件の策定に、広域の熱移流拡散シミュレーションが有用な情報を提供できます。

本件では、地下を走る高速道路から熱を持った排気ガスが換気塔を通して外気に放出されます。換気塔からの排気は風の流れに沿って下流側に移流拡散しますが、周囲の高層建物群による剥離流の影響を受けて、排気は温度を下げつつ大きく蛇行しながら、風下側の建物に接近する様子が分かります。夏季では排気ガスと外気の温度差が小さいため、風下側の建物周辺では排気は顕著な上昇流にはならないと考えられます。排気が大きな熱上昇を伴うのは、外気温の低い冬季の場合です。

高層ビルの周辺では、大きな渦が風によって発生し、それらが排気ガスを巻き込んで地上に降下してくる事も考えられます、従って排気ガスの臭気に関しても、気象状況によっては大きいと感じられるかも知れません。それらの対策も、WindPerfect による外部熱気流シミュレーションで検討が可能です。



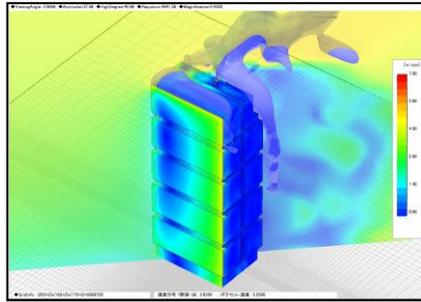
平面風速分布と高温域 3D 表示



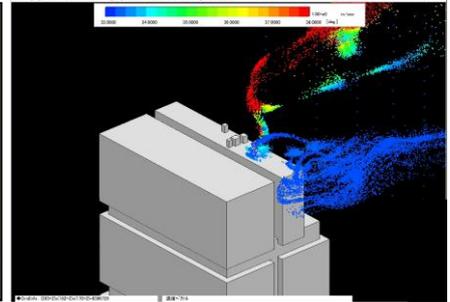
煙突からの流跡線と表面風速表示

### ◆超高层ビル 煙突排気拡散解析

超高层ビルには多くの場合大きな煙突排気が塔屋に設置されます。ビル屋上付近は非常に高風速なので、煙突付近の排気は大きく乱れて、想定外の箇所に排気が及び可能性があります。高温になった躯体は変色やひび割れ等を起こす場合がありますので、慎重に対策を練る必要があります。



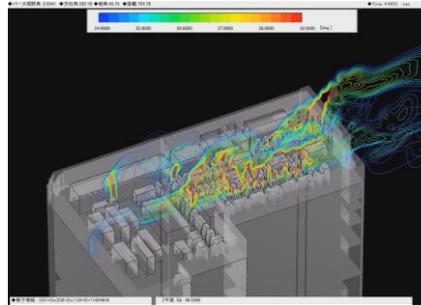
表面風速と煙突排気の高温度域



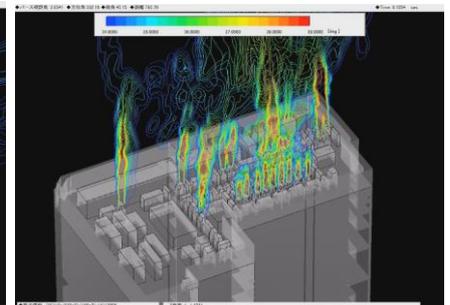
屋上排気の粒子軌跡

### ◆室外機排気移流拡散解析

高層ビル屋上には、空調の熱補償をするための室外機が多数設置されます。それらからの排気は、屋上に当たる風によって起こる渦流に巻き込まれ、室外機の給気に吸い込まれてショートサーキットを起こす事があります。無風状態においても、排気の流れを知るの大切なチェックポイントです。



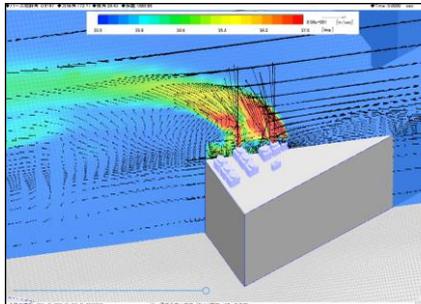
屋上付近の温度分布 有風



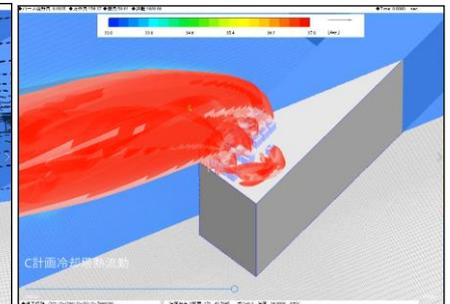
屋上付近の温度分布 無風

### ◆冷却塔排気移流拡散解析

オフィスや集合風宅など低層のビルでも、冷却塔や室外機が設置されます。それらからの排気は場合により近隣に広がり、大きなクレームとなります。そういった時にシミュレーションによって、何が起きているのか、対策はどうするのかなどを説明会で告知するのが非常に有効です。



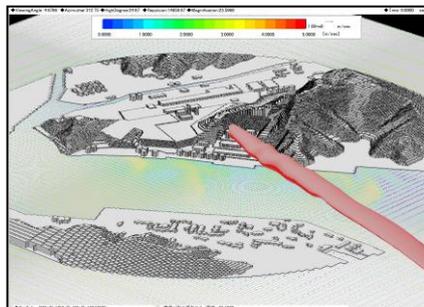
断面温度分布+風速ベクトル



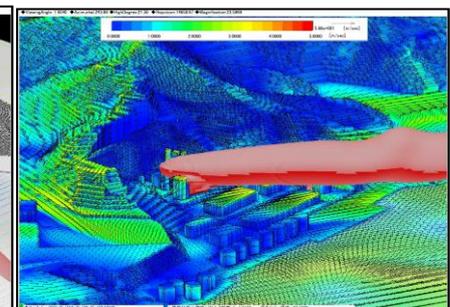
排気温度等値面

### ◆広域での煙突移流拡散解析

煙突拡散問題では、往々にして数km四方の広域でのシミュレーションが必要な場合があります。適切な地形データから周辺の地盤形状や起伏などを正確にモデル化します。本件では、起伏に囲まれ海に面した工場からの煙突排気のシミュレーションを行い、煙突からの排気が風に乗って広がる状況を予測しています。上空に登った排気は、高所の風に乗って遠くまで拡散します。



解析モデルと排気等値面



表面風速分布と排気等値面 拡大

# クローズアップ ヒートアイランド解析

## WindPerfect によるヒートアイランド解析

ヒートアイランド解析とは、日射・人工排熱や舗装・樹木・開水面等を考慮し、外部熱環境を予測する事です(下図)。熱伝導と輻射計算だけでは気流の影響を正確に考慮出来ません。気流も考慮したマルチフィジックス解析が必要です。

### ◆風速場から空気との熱交換計算を正確に実施

熱伝導・輻射だけでなく、空気と躯体・地表面の熱のやり取りを取り扱い可能

### ◆躯体・地盤表面温度の正確な評価

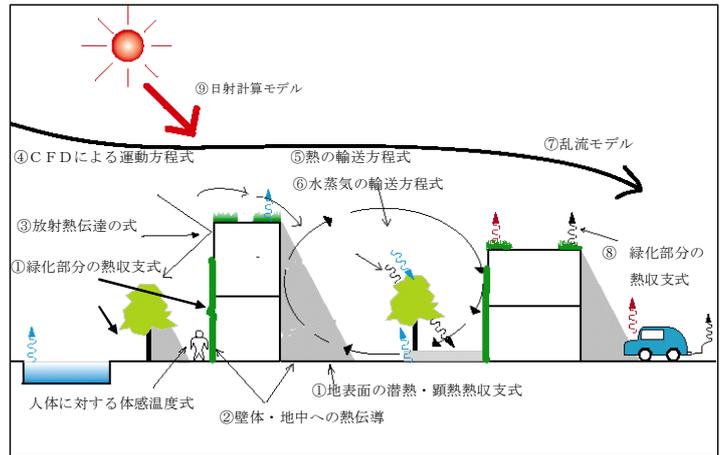
躯体表面等に10層の熱伝導解析モデルを実装

### ◆2次放射を考慮

TP法による3次元高精度輻射解析  
一形態係数・輻射率等を精度良く評価。  
1000万グリッド以上の大規模解析も可能。

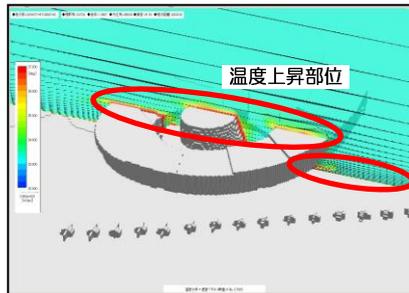
### ◆緑化・開水面(池・川)の熱移流評価

樹木葉面・水面での熱量授受・水分(湿分)授受を潜熱発生も含めて解析が可能

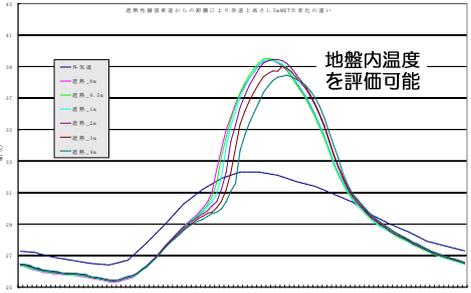


### ●風速分布より、躯体-空気等の移流熱交換計算・樹木水分蒸散等の移流拡散計算を精密に実施(右図参照)

### ●地表面・躯体表面に多層熱伝導モデルを配置し、地表面温度・躯体表面温度の精密計算が可能(右グラフ参照)



風により躯体・地表面の熱が奪われる

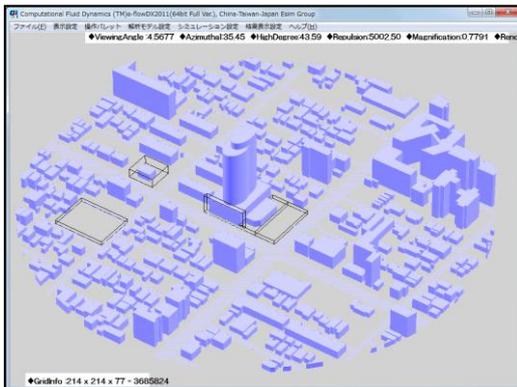


躯体・地表面の温度変化を深さ方向に評価

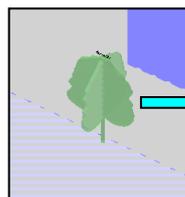
## ヒートアイランド解析の実際

### ◆BIMによるヒートアイランド解析

本例は、某都市での外部熱環境の把握を目的として実施した。街区形状は3次元BIMデータをWindPerfectにインポートし作成。解析条件として外気温36.2℃、無風時を想定し、中央部の高層建築物周辺には植栽や緑化等をパーツを用い条件設定した。植栽や緑化を施した部位の表面温度は、周辺の道路や建築物より低くなる様子が分かる。



BIMによる3次元解析モデル



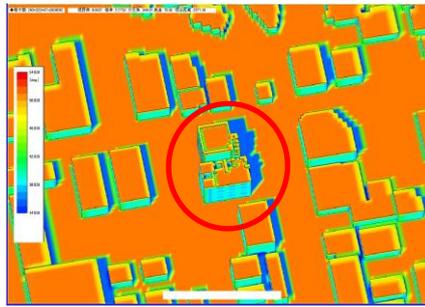
植栽モデル(パーツ)



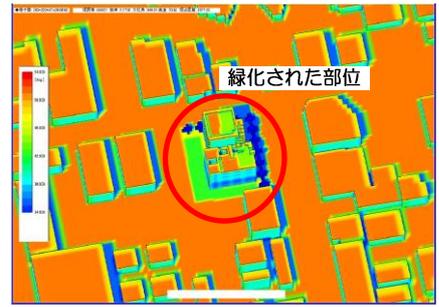
躯体・地表面の表面温度分布

◆小規模街区の解析

ヒートアイランド問題の対策としては、舗装を替える・植栽を施す、が多いです。しかし費用も手間も掛かるので、どの場所にどのような対策を打つかを検討せねばなりません。シミュレーションは適切な対策を適確に支援する事が出来ます。



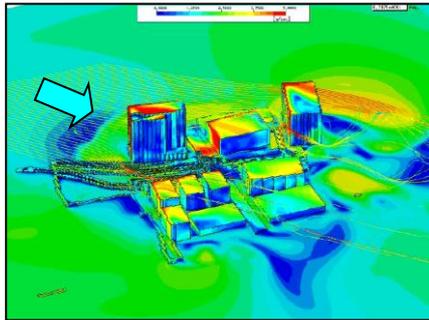
表面温度 対策前 (上方から俯瞰)



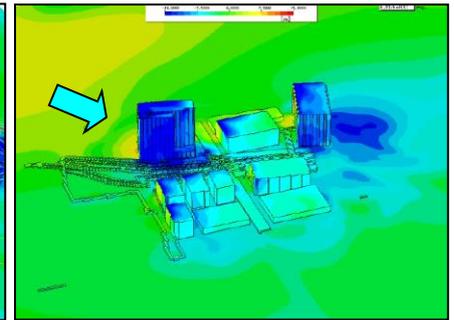
表面温度 対策後 (上方から俯瞰)

◆2008年 BIM STORM

BIM STORMとはBIMを用いたネット上の設計競技です。48時間で課題の設計内容を検討し提案書を提出します。右図はその中の検討例で、意匠担当が作成したCADデータから直接解析を掛けて、迅速に結果をフィードバックします。



躯体・地表面の表面風速分布



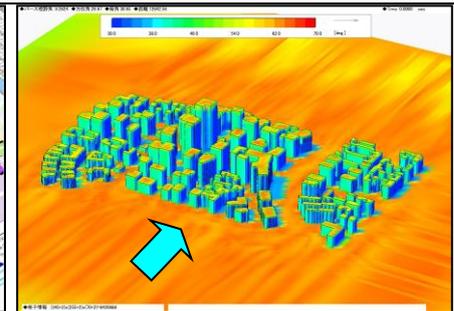
躯体・地表面の表面温度分布

◆北京街区ヒートアイランド解析

BIMが無ければどうやって3次元モデルを作ったら良いでしょうか？ その1つの解答が本例です。WindPerfectの下敷き機能を使い、地図の画像情報を元にして簡単に建物群を迅速に配置し、解析を行う事が出来ます。



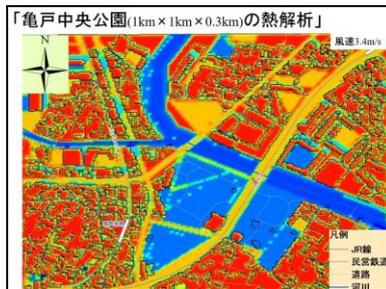
下敷き機能による建物入力



躯体・地表面の表面温度分布

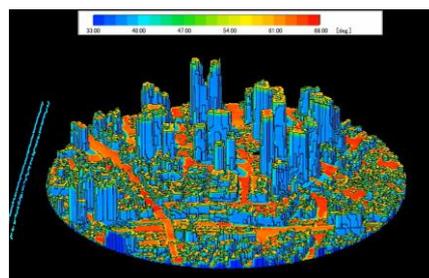
◆江東区広域ヒートアイランド解析

高層ビル等の障害物による不規則な風の乱れや、車による移動流などの人為的な風や熱の影響を評価を目的としている。実測調査と照合し、風の道の存在や、所定の地域の温度低下を検証した。(法政大学大学院提供)

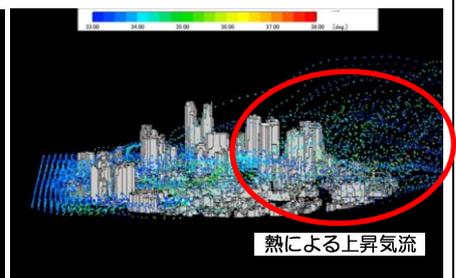


◆テレビ放映シミュレーション

2013年8月22日NHK「おはよう日本」で全国放映。大都市の集中豪雨はヒートアイランド現象と関連するとの首都大学東京の高橋日出男教授の説を、NHKの依頼で検証。解析では、風下側に強い上昇気流が発生するのを確認した。



躯体・地表面の表面温度分布



粒子軌跡パス (色は風速)

# クローズアップ 空調換気シミュレーション

## WindPerfect による空調換気シミュレーション

### <背景>

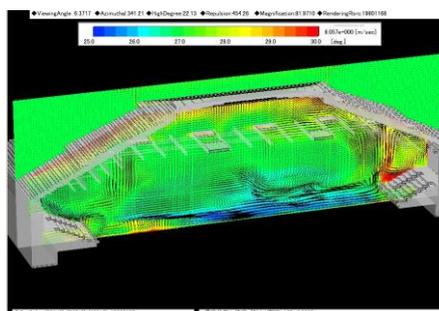
空調換気解析は、建築・土木分野で最初に CFD が適用されてきた解析であり、解析内容の種類が非常に多く、居室1つから大空間まで規模も様々です。ここでは空間の用途別の解析を取り上げていますが、BIM 業務への展開や新しい空調方式の開発・検証などを通して、実務での建物作りへの貢献がますます重要となっています。

### <空調シミュレーションのポイント>

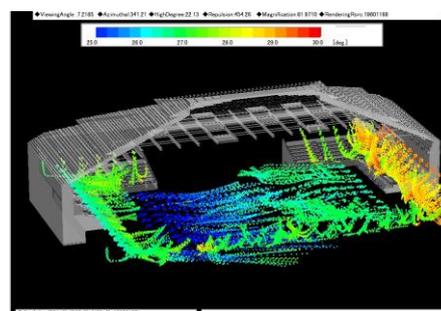
- ・制気口と全体空間との関係 : 吹き出しの到達範囲予測、大空間居住域での全体温度分布の把握
- ・特殊な空調の適用、換気回数の多い空間 : ショートサーキットや淀みのある部位の予測とその対策立案
- ・熱伝導との連成 : 躯体壁体及びサッシなど窓周りの結露検討、冷凍庫・冷蔵庫などのヒートブリッジ問題
- ・輻射との連成 : 工場など高温設備のある空間での輻射の評価、輻射冷暖房の検討など。大規模問題にも適用。
- ・非正常解析 : 運用形態の変更や負荷変動に対して、空間の快適性や局所換気状況を検討するニーズの高まり。
- ・指標による評価 : 単に気流や温度の分布で検討できない問題を体感温度 (PMV)、換気効率指標などで比較。

### ◆大空間温熱環境解析

体育館・劇場・アトリウムなどの大きな空間では、制気口からの気流がどこまで到達するかその範囲が問題となります。更に空間各部位の熱条件は、日射条件に代表されるように均一ではないため、偏った対流が起きる事によって、局所的な気流・温度の不均一が起こります。また壁面で起こるコールドドラフトも問題で、それらの適切な回避策が必要です。



断面温度分布+速度ベクトル



流跡線分布 (色は温度)

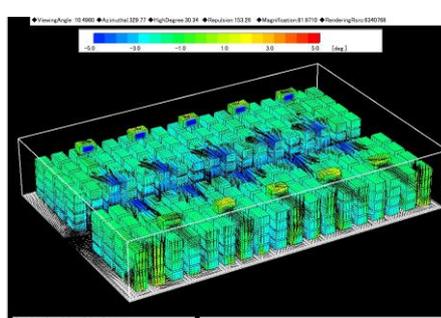
上記体育館の場合、アリーナ部の冷気供給は十分ですが、客席部では十分な空調がされていない事が分かるので、風量増加など対策が必要になります。

### ◆冷蔵庫空調解析・非正常解析

低温での保存が必要な製品を保管する冷凍庫・冷蔵庫等の解析は、空調負荷条件等とともに、収納する荷の状態確認が重要です。一般にこれらのような倉庫では、荷の在置状況が規則的ではないので、一般的に気流や温度の性状は不均一であり、保存環境が不備な状況が多く存在します。まずは全体の温度分布や、前室・内壁面の結露・結氷状態と、循環ファンの設定の確認が必須です。



風速等値面 (Voxel) 表示 0.25m/s

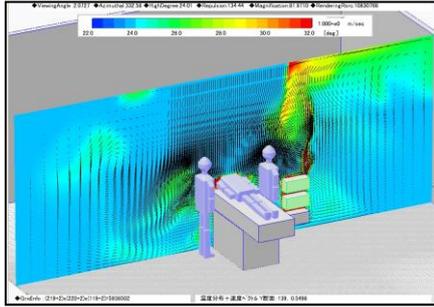


表面温度表示

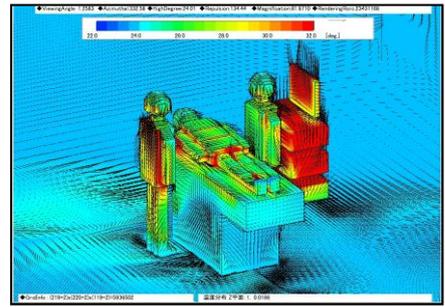
上の例では、対向した循環ファンを一定間隔で設置しても、庫内の温度分布が均一になるとは限りません。吹き出し設定の方法の改善などが必要になります。

### ◆手術室の空調シミュレーション

特殊な空調問題の1つとして、医療系の問題が増加しています。手術室の解析はその代表格で、術者と患者によって起こる人体周りの熱上昇流、計測器など発熱する電子機器や、無影灯などの負荷の高い熱源がある中での気流性状の確認が必要です。局所的な換気効率やPMVによる快適性評価も多く検討されています。



断面温度分布+速度ベクトル

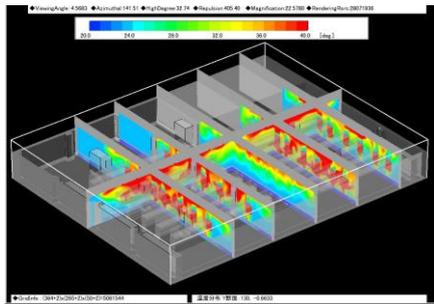


表面温度分布

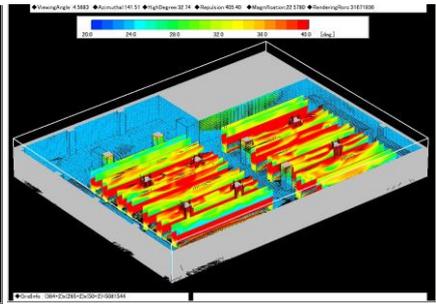
上部吹き出しからの空調空気、術者及び患者周辺の快適性を担保出来るかが主眼であるが、発熱機械の影響などで局部的に上昇流・渦流が起きています。

### ◆データセンター空調解析

データセンターは様々な負荷のラックが多数混在し、個別に十分な冷却がなされなければサーバーが過熱し熱暴走するリスクが増大します。最近の高負荷サーバーは周辺に高温空気を撒き散らします。外気導入等の新技術に対しても適宜対応する必要があります。シミュレーションでの検討が更に重要となっています。



断面温度分布

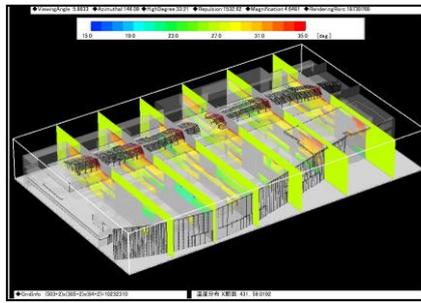


表面温度分布+速度ベクトル

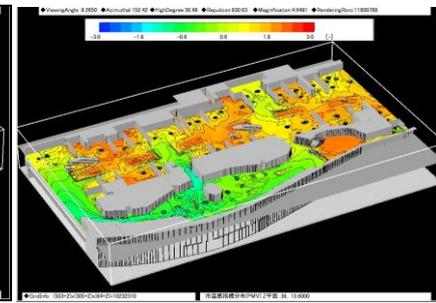
データセンター内は換気回数が大きいにも関わらず、気流・温度状態は不均一です。稼働状態に合わせてアイルキャッピングや局所空調などの対策が重要です。

### ◆ショッピングモール空調解析

最近の空調換気解析の特徴は、個々の空間だけを解析対象にするのではなく、1つの建物全体を丸ごと解析して、エスカレーターなど上下階の繋がっている箇所や吹抜けの影響など空間同士の関連を考慮した検討が可能になっています。本例以外に、オフィス・駅舎・工場など、全体と局所の空調換気バランスの検討が重要です。



断面温度分布

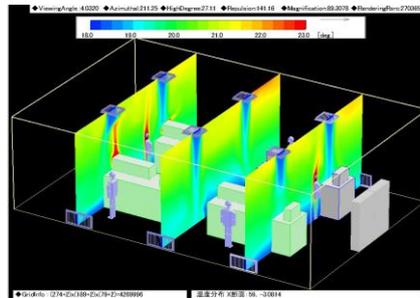


平面 PMV 分布 (2F)

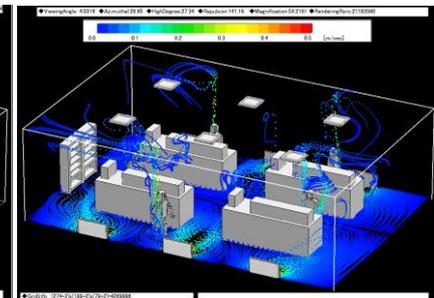
3階建て大型モールの例ですが、各階テナントの快適性対策や、フードコート・吹抜けの気流状態のチェックが施設管理上非常に重要です。

### ◆クリーンルーム空調解析

クリーンルームは古くて新しい問題です。80年代から多くの問題が解析されていて学問的には一段落付いた事になっていますが、清浄度の実現に問題のある施設が少なからずあります。その原因はクリーンルームと言えども機器発熱があり、天井FFUからの給気に抗して上昇流が発生し、渦が生じて床の塵埃を巻き上げるからです。熱分布を考慮した設計が新たに必要です。



断面温度分布



床から発生した粒子の軌跡

天井部FFUからの冷気供給に対して、危機発熱屋人体発熱による上昇流発生が無視できず、床付近の塵埃が上部に滞留しています。

# クローズアップ 結露シミュレーション

## ◆ 結露シミュレーションとは

結露とは、躯体の表面などで空気中の水蒸気が凝縮し露を結ぶ現象です。 四季の変化がある日本の気象では、春先や初秋・厳冬期など、結露が起こりやすい状況が一般的です。 データセンターなどのように常に低温と接している環境下では、結露が常態的に発生する事もあります。 結露が起きると、躯体の汚れや歩行者の転倒に繋がり深刻な被害が予想されます。また結露発生は躯体の寿命を縮めるので、運用コストにも大きく影響します。

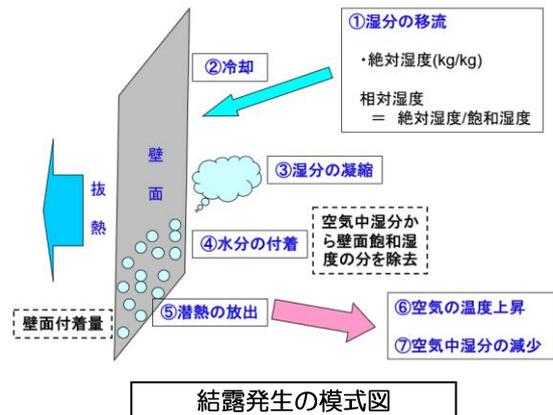
## ◆ 結露シミュレーションのポイント

結露の対策はいくつもありません。 躯体を断熱化する事と、結露箇所に乾燥空気をぶつける事、除湿機を設置する事くらいです。 しかし、後付けの工事では、それらのどの方法でも多大な費用と手間を要します。 基本設計の段階で結露発生を評価しておけば、それに沿った対策を最も費用対効果の高い方法でより安価に実現出来たはずで、最近非常に結露シミュレーションの需要が多い理由です。

## ◆ 結露発生メカニズム

気流による移流拡散を考慮した結露問題の検討が必要です。 結露は空気中に含まれる水蒸気が冷却面に凝縮し付着する現象です

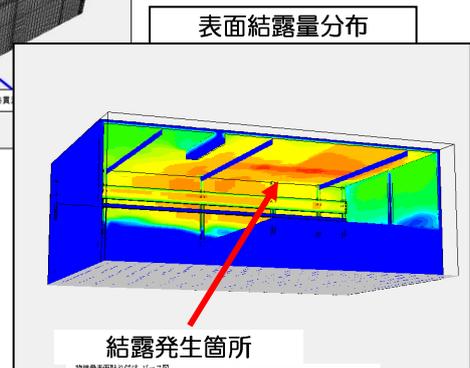
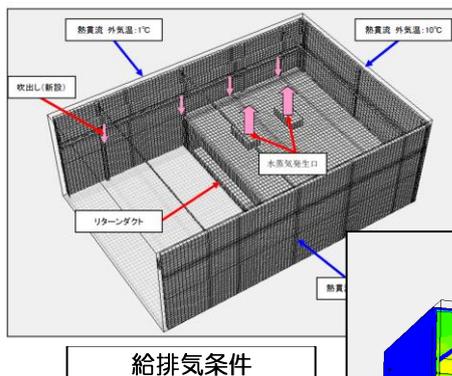
1. 予測の第一は、ガラス面・壁面が露点、つまり相対湿度 100% 上回る水蒸気圧になっているかを判定する事です。
2. 露点だけでの結露判定では不十分です。 継続的に結露が起きるか否かの判定が重要になります。
  - ・当該部位に何℃の空気がどれだけの量供給されるか
  - ・冷却面は蒸発潜熱に見合った分空気を連続して冷却出来るかが重要になります。(右図参照)



## ◆ 食品工場の結露解析

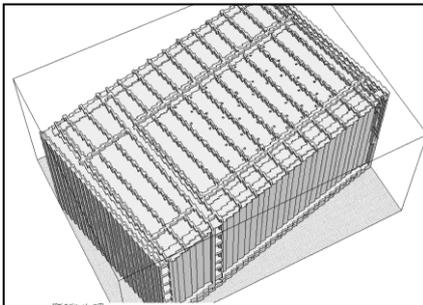
食品の製造工程は、水分を扱う加熱工程が多く水蒸気発生は頻繁なのが一般的です。 その水蒸気が周囲の躯体表面などで凝縮し結露が発生します。 その水分が製品に落ちれば、衛生管理上非常に深刻な事態に発展します。

本事例では HACCP を適用した食品工場での結露を取り扱っています。 先ず現況でのシミュレーションを行い、結露の発生する天井や壁面の予測を行い、順次その対策を立て評価します。

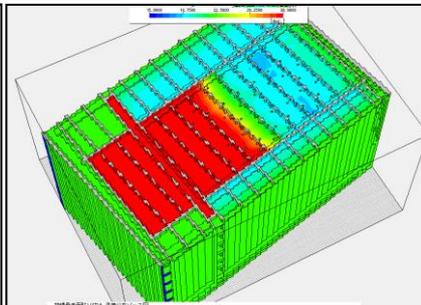


## ◆ BIM を用いた結露解析

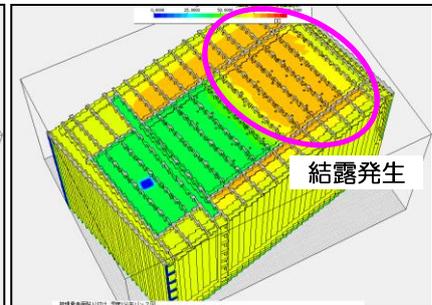
特殊な構造の某美術館を対象としました。 展示室の屋根部はチャンバー構造になっており、そこから照明用の穴などを通して空調空気が展示室内に供給されるようになっております。 そのためチャンバーのすぐ外側は外気で、チャンバー内の空気はその影響を直接受けます。 BIM で提供された CAD データから簡単に解析モデルを作成出来ます。 熱条件を付与し解析を行うと、相対湿度が大きく露点に近い部位を容易に見つける事が出来ます。



解析モデルパース図



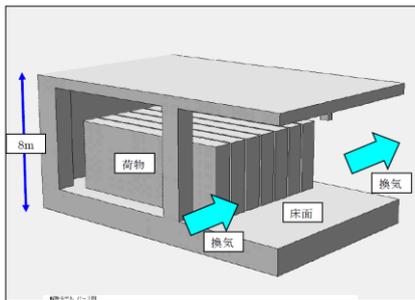
内部表面温度分布



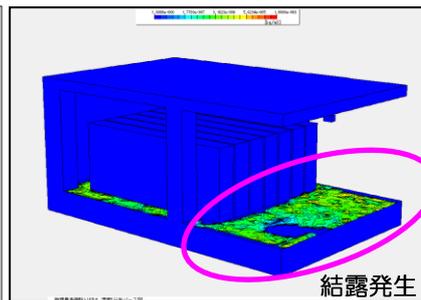
内部表面相対湿度分布

## ◆ 常温倉庫の結露解析

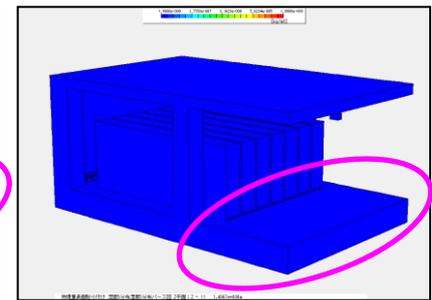
常温の倉庫でも結露が起こります。 春や秋の雨などが降った日の翌日に気温が下がると、床に大規模な結露が発生する事があります。 対策としては、床面を断熱化するか、乾燥空気をぶつけるかしかありません。 フォークリフトが常に通る関係などで床の断熱化は難しく、循環ファンなどを設置して乾燥空気を当該部位に供給する対策が多く取られます。 常温倉庫の結露は、山間部の湿度が高く夜間冷え込む場所でも見られる事があります。



解析モデルパース図



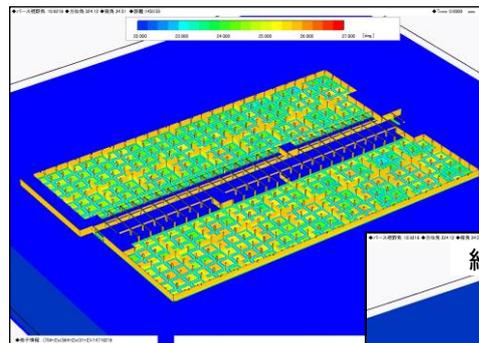
表面結露量分布 (対策なし)



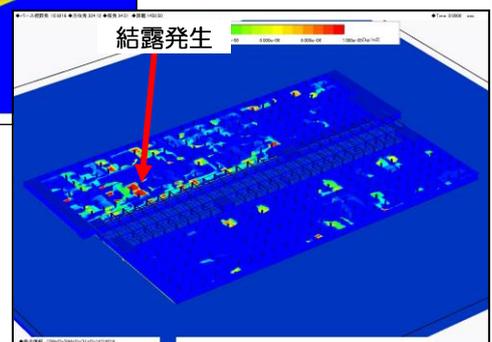
表面結露量分布 (対策あり)

## ◆ 倉庫の結露解析

冷凍倉庫、冷蔵庫も結露しますが、現在常温倉庫の結露が問題になっています。 夏前あるいは秋の中間季で、雨の降った翌日に気温が下がると結露します。 こういった倉庫の荷は食品関係が多いので、テナントとしては大問題です。 最悪はテナントが逃げてしまうので、適切な対策が必要となります。 主に断熱化と換気が対策となりますが、大型倉庫の場合はどこまで費用対効果を見込むかが問われます。 実績豊富な弊社の結露予測解析は、それらの検討の指針を得るために、活発に利用されています。



表面温度分布



表面結露量分布

# クローズアップ コロナ関連気流解析

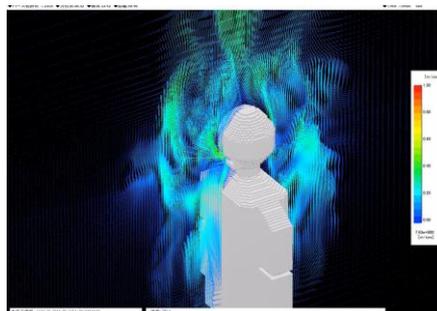
## WindPerfect によるコロナ関連気流シミュレーション

＜まずは基本から＞

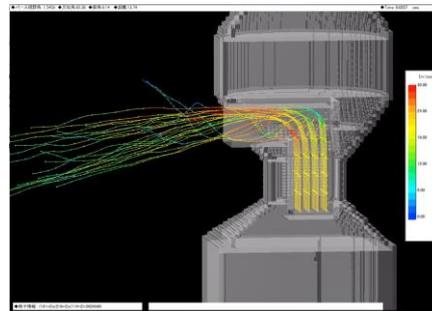
人体周辺の気流シミュレーションを行う場合、必ず遵守しなければならない条件があります。1つは体温によって人体に沿って発生する熱上昇流、もう1つは人間の吐く呼吸が体温ですから、それが熱によって上昇する事です。これらを考慮しないシミュレーションは、どんなに速いスパコンを使っても不正確です。

＜口蓋から吐出する気流＞

咳の気流は2mも飛びません。気道と口蓋で作るエルボー（L字型）形状によって、気流は大きく乱れます。その結果、口から出た咳も流れが大きく乱れ、急速に拡散します。最終的には自身の持つ浮力で上方に拡散します。



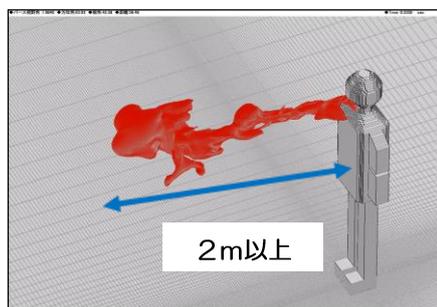
人体周りの熱上昇流



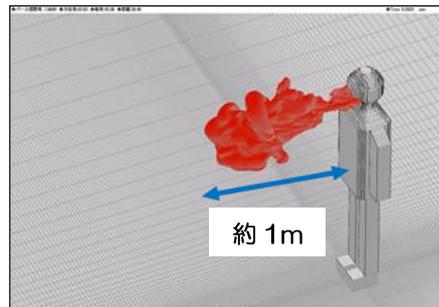
気道から口蓋を通過する気流

### ◆咳の移流拡散

上記を踏まえ、エルボーのない場合とある場合で咳の移流拡散シミュレーションを行いました。両者の咳の飛び方は大きく異なります。エルボーを考慮しないと咳は飛びすぎます。実際の咳は2mも飛ばず、せいぜい1mなのです。咳は空間の上方に漂い外部に排出されますが、これを空調で空間下方にわざわざ戻してはいけません。



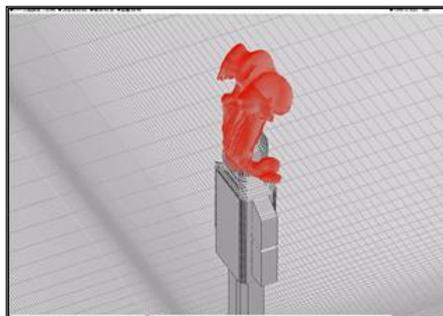
咳の飛散状況 エルボーなし



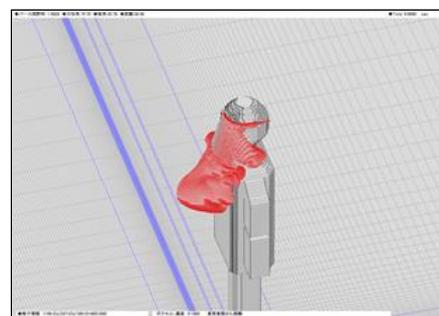
咳の飛散状況 エルボー有り

### ◆マスクをした場合の移流拡散

マスク着用で咳をした場合、咳はマスクの隙間を通して漏れ周囲に拡散します。漏れは鼻周辺の間隙から大きく、主に上へ吹き上げる形になります。吹き上がった咳は体温であるため、そのまま上方に滞留します。バイザー着用の場合は、咳の呼吸は下方に吹出し、そのまま周囲に拡散します。バイザー・マウスガードは感染防止効果が低い事になります



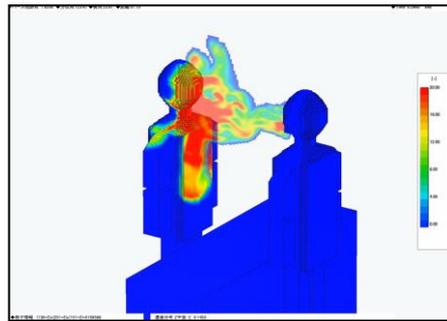
咳の飛散状況 マスク着用



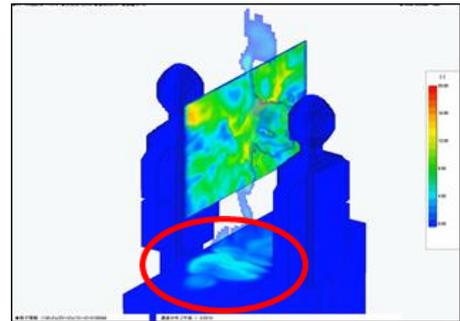
咳の飛散状況 バイザー着用

### ◆対面での咳の移流拡散

二人の人が対面して片方が咳をした場合はどうなるのでしょうか。スクリーンがない場合は、咳は対面の人に広く降りかかるのが分かります。スクリーンがある場合は、対面の人に咳がかかるのを防いでいますが、反射して下方に流れた咳が机を汚染するのに注意しましょう。



咳濃度表面分布 スクリーンなし



咳濃度表面分布 スクリーンあり

### ◆空調と換気の関係

2020年5月12日TBSテレビ「あさチャン！」に動画提供しました。エアコンに換気機能がないのは知られるようになりましたが、空調と人の呼気の拡散とはどのように折り合いをつけるべきでしょうか。

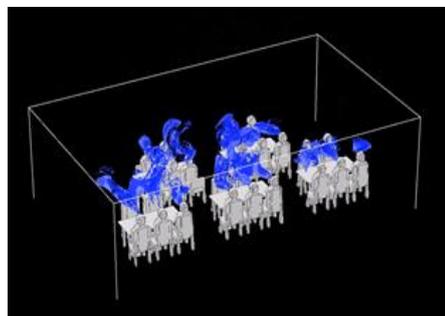
夏季ではエアコンからの吹出しが水平だと、部屋の上方に滞留する呼気を攪拌して、それを人が吸う可能性があります。出来るだけ下向きにして、床から溜まった冷気が徐々に空間を満たすようにすれば、天井付近に達した呼気が円滑に排出される機会が増えます。空間の中を水平方向にかき混ぜるエアコンの運用はお勧めできません。



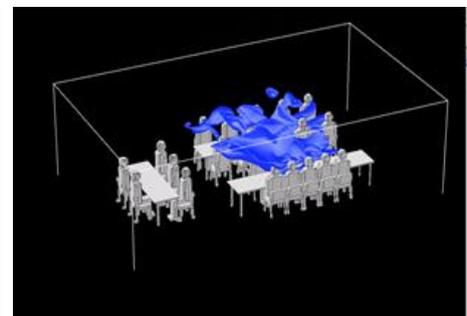
表面温度分布+速度ベクトル

### ◆密な飲食店での呼気の拡散

2020年8月2日テレビ朝日「サンデーモーニング」に動画提供。大阪府知事の飲食店での5人制限を検証しました。疎な配置では、各人からの呼気は個々に分散しながら拡散するのに対して、密な配置では呼気が特定の部位で集合し、大きな呼気の塊を形成するのが特徴です。



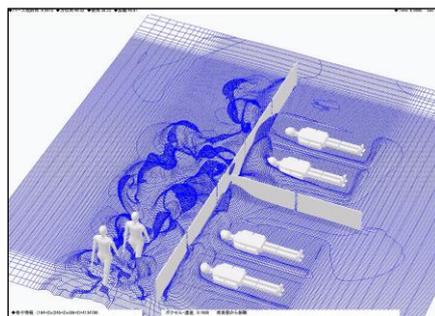
飲食店での呼気の拡散状況 疎な配置



飲食店での呼気の拡散状況 密な配置

### ◆避難所の塵埃移流拡散

避難所は多くの人と同じ空間に住居します。その場合、通路を歩く人が巻き上げたウイルスを含む塵埃を床で寝ている人が吸引するリスクがあります。解析では歩行する人が巻き上げた空気塊が、大きく立ち上がって拡散する様子が観察できます。仕切りの設置法やベッドの採用など、多くの課題を提起しました。



床付近の塵埃拡散状況 上方から俯瞰



床付近の塵埃拡散状況 横から俯瞰

# クローズアップ 特殊空間気流解析

## WindPerfect による特殊空間気流シミュレーション

### <背景>

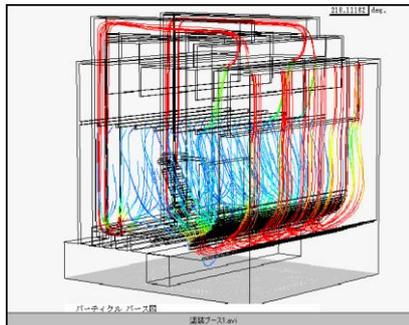
建築設備の見地から見て、通常の空調換気システムとは異なる、様々な設備が存在します。あるものは換気回数が極端に大きかったり、あるものは空間内の熱負荷の処理の仕方が特殊だったり、またあるものは緊急時の設備の挙動が特徴的だったりします。このような多様な案件においても、シミュレーションによる実務での建物作りへの貢献が、今後ますます重要となっていく事でしょう。

### <特殊空間気流シミュレーションのポイント>

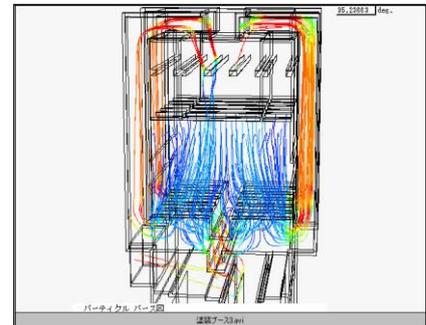
- ・換気回数 : オフィス3~4回 データセンター10回以上 塗装ブース100回以上
- ・クリーンルーム : 上方から下方へ風速0.3m/sec 傾斜流は不可 上下にチャンバー構造は必要
- ・局所空調 : 極端な高熱負荷を処理 データセンターの高負荷サーバーなど
- ・医療関係 : 診療室の陰圧制御 手術室の滅菌装置 多床室のタスクアンビエント空調
- ・緊急時の挙動 : データセンター火災時のN2パージ、停電時・復電時のラック熱制御
- ・輻射熱の大きい空間 : 加熱炉開放時 金属製品の徐冷ヤード 輻射空調・輻射暖房
- ・空気以外の移流拡散 : 比重の重い毒性気体(ダイオキシンなど) 極端に軽い気体(水素など)の移流拡散
- ・特殊な吹出し形式 : 床吹き 置換空調 クリーンルーム 厨房・ソックダクト

### ◆塗装ブース解析

塗装ブースは、数ある製造施設の中で、最も換気回数の多い案件です。通常100回を越えますが、有害な有機溶媒を作業者が吸い込まないためのものです。余りに多い必要空気量を確保するため、給気はリサイクルでまかなっている場合が多く、また空調処理はされていません。噴霧した塗料の回収も含めて、問題が山積みのみです。



流跡線分布(色は風速)

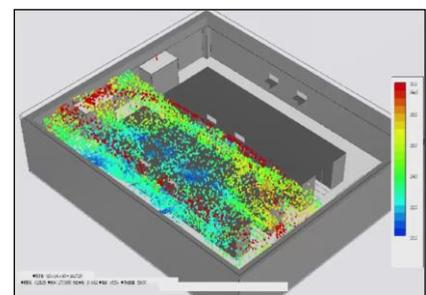
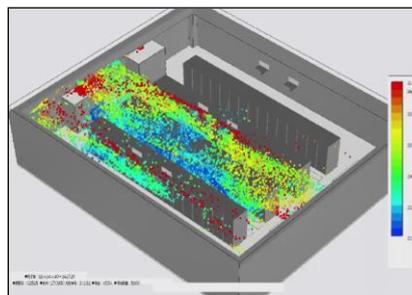


流跡線分布(色は風速)

塗装ブースでは上から下への気流が作られますが、これは下方のピットで塗料粉を回収するためです。空気が室内に逆流しないよう考慮されます。

### ◆サーバールーム気流解析

BIM や CFD の進展にも関わらず、データセンターの解析需要は低調です。AWS, Azure を始めとするクラウドサービス大手が、異常な低コストでの調達を行うため、トラブルしたサーバーは熱対策をするより交換した方が安上がりだからです。しかし、アイルキャッピングや高負荷サーバー、局所空調の扱いも含めて、データセンターの熱問題は解決すべき課題です。

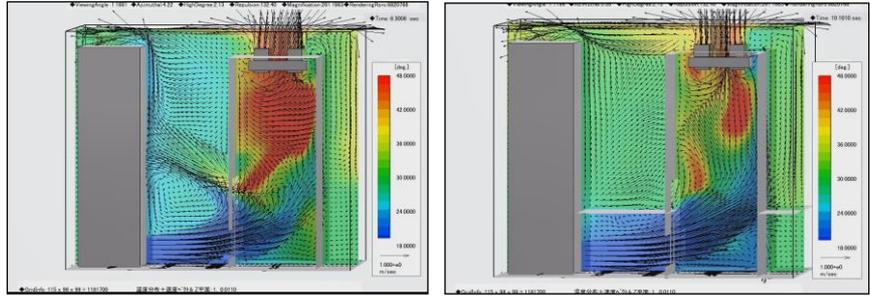


流跡線分布(色は風速) 左: キャッピングなし 右: キャッピングあり

コールドアイルにキャッピングがないと、床面エアガラリからの冷気の拡散が大きい。ある場合は、ラック列全体にわたって均一に冷気が供給される。

### ◆パワコンの熱流動解析

太陽光発電では、発電した電力の供給のためのパワーコンディショナーが必須です。しかしパワコン内部の熱流動状態の解明はほとんど手がつけられていません。そのため発熱部に適切に冷気が供給されていない場合や、季節によって筐体内に結露が発生して、漏電事故が起こる場合もあります。

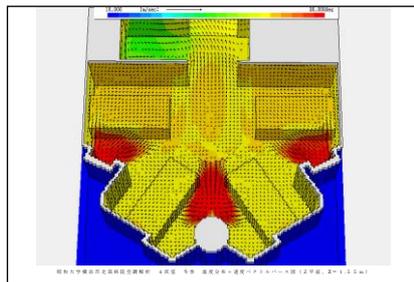


断面温度分布 左：対策前 右：対策後

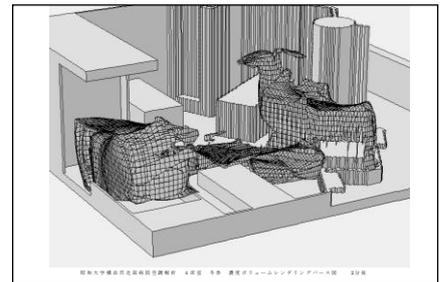
パワコン内では既製のエアコンが使われているが、発熱部とはあさっての方向に冷気が吹いている場合も多い。仕切りを設ける事で大幅な改善が可能である。

### ◆多床室温熱環境解析

最近の病室は、患者の快適性を維持するために、空調での温熱環境維持を担保する必要があります。病床毎のタスクアンビエント空調や、ペリメーター処理が適切に施されなければなりません。またベッドサイドで嘔吐等があった場合の臭気環境の担保も需要があり、非定常の濃度移流拡散シミュレーションが必要となります。



断面温度分布

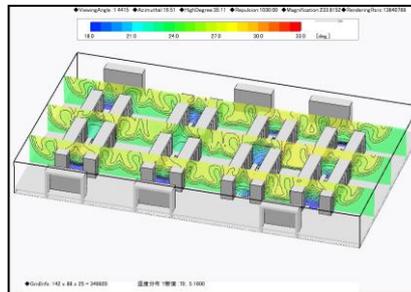


臭気等値面パース

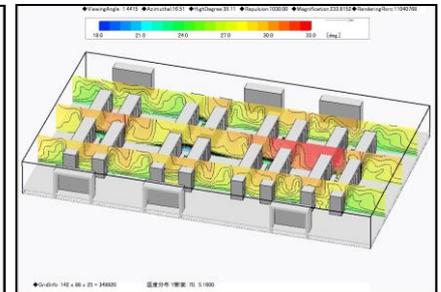
複数のベッドを持つ病室では、位置によって温熱環境が大きく異なる場合がある。快適性確保のために空調条件や断熱設定を個別に検討する必要がある。

### ◆データセンター停電・復電解析

データセンターは消費電力の極めて大きい施設であり、熱負荷の変動による各ラックの温度変動も無視できません。特に何らかの事故で給電が止まった場合、ラックの温度上昇は非常に大きいものになります。また給電が再開された場合も、停電時と同様にラックの熱ショックは大きく、最適な再開方法など検討の余地があります。



断面温度分布 通常稼働時

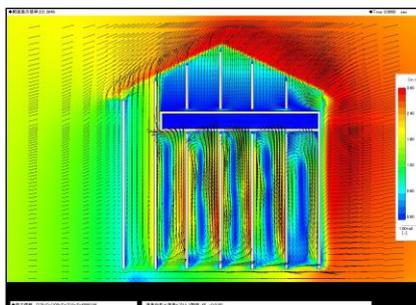


断面温度分布 停電時

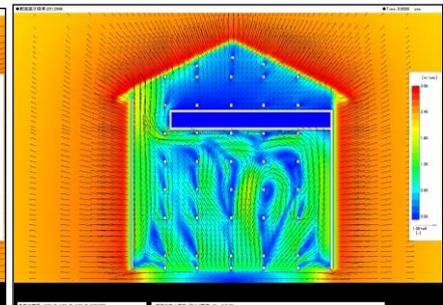
通常稼働時では適温で均一に冷却されていても停電時は極めて短時間でラックの温度は上昇する。通風や冷房の維持などの検討が必要である。

### ◆横胴縁通気層気流解析

あまり知られていないが、住戸の壁体に設けてある通気層では、横胴縁の形状により、通気風量が大きく変化する。外部風による壁体下端からの空気の押し込みと、内部の温度分布により横胴縁内の気流状態は支配される。元を正せば、横胴縁各流路内の圧力損失を事前に把握していれば、通気風量を確保できる最適な横胴縁の設計は容易と考える。



断面気流分布 横胴縁形状1



断面気流分布 横胴縁形状4

様々な横胴縁を検証すると、最も狭い流路が圧力損失（通気抵抗）を大きくしている事が分かる。旧来の概念に拘らない設計手法が求められる。

## クローズアップ 自然換気シミュレーション

### WindPerfect による自然換気（温度差換気・通風換気）シミュレーション

#### 目的

集合住宅やオフィスビルのポイド（吹き抜け）や工場建屋などの換気に、近年自然換気（温度差換気）が多く用いられています。エネルギー消費を伴う機械換気よりランニングコストが小さく、人に優しい換気が実現できるのが利点です。積極的に自然換気を利用する建築は、規模を問わず、国内でも海外でも急激に増加しています。外気の取り入れを外部風に依存しなければならない通風換気より、確実に需要は高いと言えます。

#### 自然換気シミュレーションのポイント

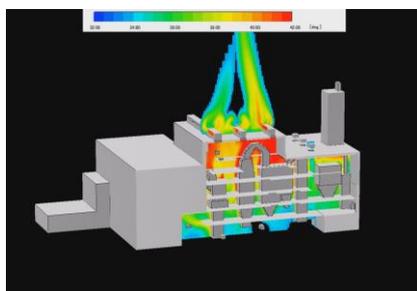
自然換気の気流状況の再現は容易ではありません。温度差換気の予測には、開口を含む建物形状の正確な再現と、建物内の様々な熱負荷を詳細に設定する事が必要です。そうして初めて、建物内外の気流・温度分布を予測する事が可能です。WindPerfect の自然換気解析は、温度による浮力の評価に定評があり、開口を通過する上昇気流の速さなどを適確に予測します。ショッピングモール丸ごと1つと言うような大規模な依頼にもお応えします。

吹き抜けの空塔速度や各開口の面風速なども予測可能です。中性帯の位置までも予測出来ると言えば驚かれるでしょうか。弊社は常に基本に忠実に、地道に正確な予測を目指しているだけです。余計な風速条件を入れずとも無風状態の温度差換気も出来ますし、実態と異なる突拍子もない結果を出す事ありません。そして多くの案件を手掛けてきた実績が、多くのお客様からの信頼を得ています。

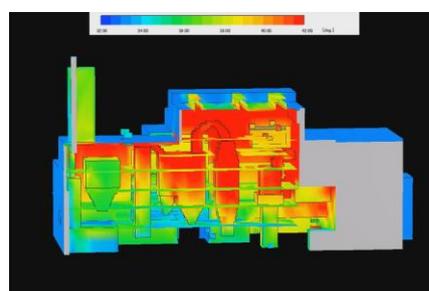
### 自然換気シミュレーションの実際

#### ◆某清掃工場自然換気解析：

清掃工場は5～6階建ての建家で、多数の吹き出し口設定、炉体・ボイラーなどの高温機器からの輻射、モニター等開口の扱いなど、換気問題の中でも最も難問に属する問題です。しかし予測を元に、空調換気装置の選定や、循環ファン・ガラリ・モニターなどのサイズ・配置などを検討する事で、より効果的な暑熱対策シミュレーションの実現が可能になります。



断面温度分布

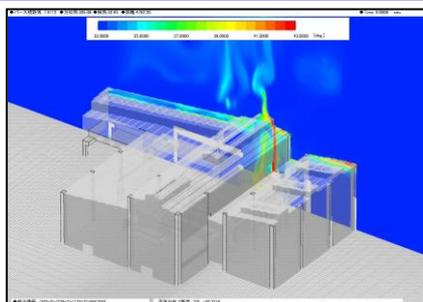


表面温度分布

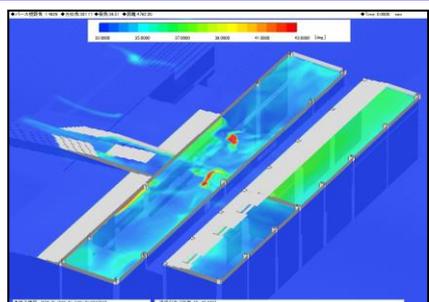
空間全体の温度分布を元に換気モニター的位置・大きさや局所空調を検討。ボイラー周辺や点検歩廊周辺の熱環境が大きく改善された。

#### ◆某高温施設工場自然換気解析：

通常の工場建家は、折板構造で空気の流通が自由ですが、燃焼炉・焼入れ炉など高温施設からの排熱が作業環境に大きな影響を及ぼします。建物全体に波及する温度成層の再現を始めとして、建家上部に生成する熱だまりを予測し、それを効果的に排気する設計が重要となります。熱環境に大きく影響する輻射熱遮断策も重要です。



断面温度分布



平面温度分布

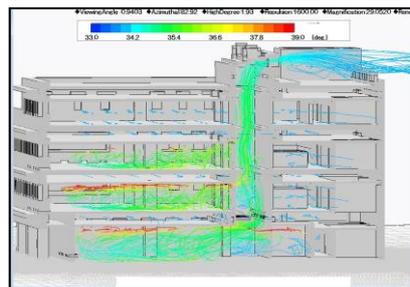
作業環境の過熱の改善が主眼。トップライト付近のガラリ・モニター開口の増設や外気の導入を工夫するなどを実施して暑熱環境を改善した。

### ◆某オフィスビルポイド換気解析

給排気ガラー、トップライト開口、欄間などを含む建物内の3次元形状をBIMで入力。各居室や吹き抜けの温度成層状態の検証や、建物全体・局所の換気風量予測が可能です。最上階は中性帯より上なので、吹き抜けとは流通がありません。無風状態だけでなく、外部風を考慮した解析や、空調や躯体熱伝導を同時解析する事もできます。



断面温度分布

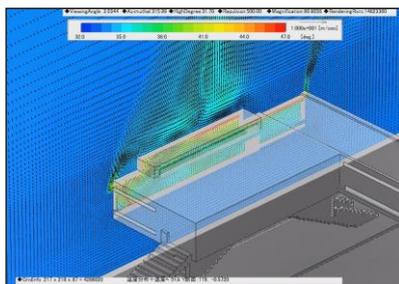


ポイド流跡線（色は温度）

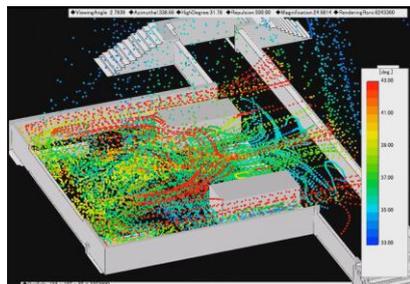
吹き抜け空間のある建物内全体の自然換気を評価。低層・中層部の換気口から入った外気をトップライトから効果的に排気。

### ◆橋上駅舎自然換気解析

橋上駅舎は、最もポピュラーな駅舎の形態ですが、デザインのバリエーションも多く、換気性能についても未検討な場合が多いものです。自由通路や改札口・駅構内を正確にモデル化し、偏った気流・温度分布の有無を検討して、適切な暑熱対策を施します。職員にとっても乗客にとっても快適な空間の設計に寄与しています。



平面風速分布

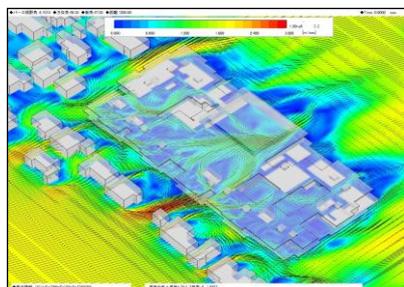


流跡線（色は温度）

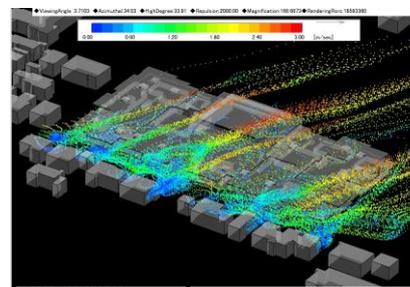
開口を取れる位置は限定されているが、なるべく機械動力を利用せずに熱排気が滞留せず、均一な温度場が得られるように寸法などを選定。

### ◆宇土小学校通風解析

湿地帯に建つ学校建築の通風換気を検討しました。大きな風は期待出来なかったのと、周囲の住戸による風の遮蔽を考慮し、屋根上にウインドコレクターと呼ぶ集風装置を設けて風を室内に呼び込み、快適な環境を実現しました。全体に換気が良いので、自由な間取りも実現。2013年度日本建築家協会賞・建築学会作品選奨・村野藤吾賞を受賞。



断面風速分布

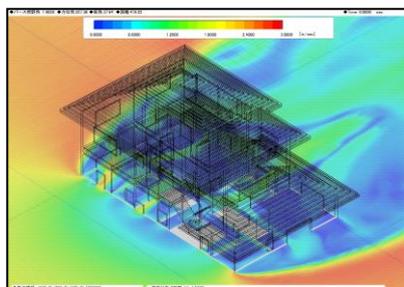


流跡線（色は風速）

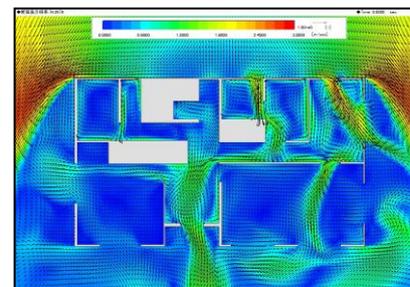
建物内に外気を効率的に導入するために、集風装置の有効な配置と向きを検討。建物内の内壁・間仕切りの設計検討も同時に行った。

### ◆住戸通風シミュレーション

通風換気と温度差換気は全く違うものです。余り一般には知られていませんが、自然風は間欠風であり、かつ風向も時々刻々と頻りに変化するので、通風換気は不正確な予測結果を招きがちだと言う現実があります。特に夏季で、通風解析だけで温熱環境評価をするのは危険です。出来れば温度差換気も考慮して、換気設計をするのが賢いアプローチ方法です。



平面気流風速分布



1階平面風速及びベクトル

建物の構造を正確に再現するのが肝要。また扉・窓の開口状態や建具なども、実運用に合わせて詳細に設定する必要があります。

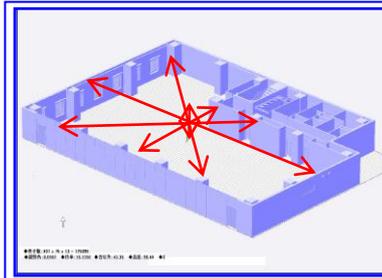
# クローズアップPMV/SVEシミュレーション

## ◆ 温冷感指標 PMV(Predicted Mean Vote)とは

PMV とは温熱 6 要素（気温・湿度・気流・熱放射・代謝量・着衣量）を考慮し空間内の快適性を評価する代表的な温冷感指標である。近年、SET\*よりも応用が広がっている。その理由は、PMV は測定機器が開発・市販されており実施物件での評価が得易い事と、PMV は誰が計算しても公平な評価が出来る事が挙げられる。中国・台湾などのアジア圏では PMV 評価が一般的であり、SET\*は全くと言っていいほど見かけない。米国では SET\*が優勢である。

## ◆ PMV の計算方法

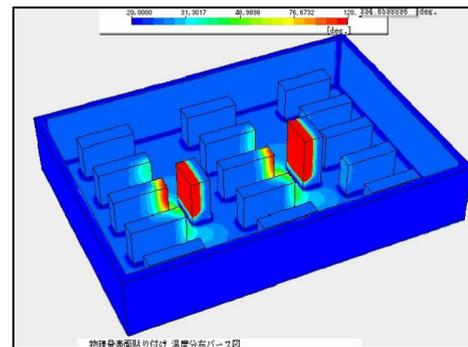
1. 輻射を考慮した熱流体シミュレーションを実施  
輻射計算には弊社独自の TP 法を採用。
2. セル毎の MRT（平均輻射温度）を計算
3. 人体の代謝量(met), clo 値, 外部仕事など設定
4. 風速, 温度, 湿度などを気流解析結果から取得
5. 所定のアルゴリズムで PMV を計算・表示



MRT (平均輻射温度の計算)  
仮想人体からマルチフラックス線分を所定本数出して壁面温度をサンプリングし、その平均値をセル毎の MRT とする。

## ◆ 輻射シミュレーションの比較

モンテカルロ法	計算量は面の数の自乗に比例。近傍の高温面を拾えない場合精度が大きき低下。
マルチフラックス法	各セルからのフラックス線の数に限界。遠くの高温面の輻射量算定精度が低い。
ゾーン法	ゾーンが増えた場合、計算量はゾーン数の自乗に比例し大規模問題には不向き。
TP 法 (WindPerfect で採用)	計算量が面の数に比例し大規模計算が可能。遠近によらず高温面を正確に評価。

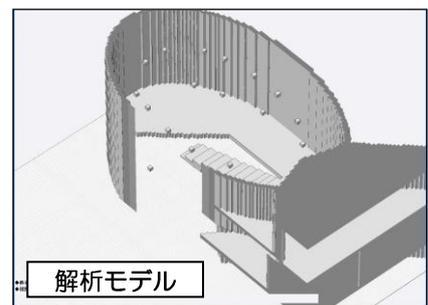


焼入れ炉周辺の輻射熱解析

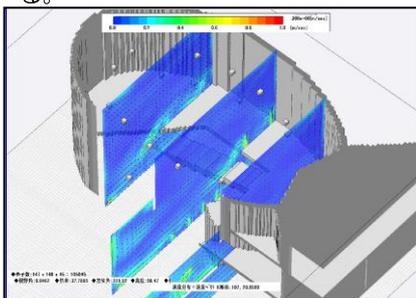
## ◆ 夏季エントランスホールの PMV 解析

通常の温熱環境評価は所定の場所の気流・温度分布をチェックすれば良いが、本当に快適な環境か否かを判断した事にはならない。施主・関係者等にアピールするには、更に輻射計算も行い、一般的になって来た温冷感指標 PMV による環境評価を行う方が望ましい。

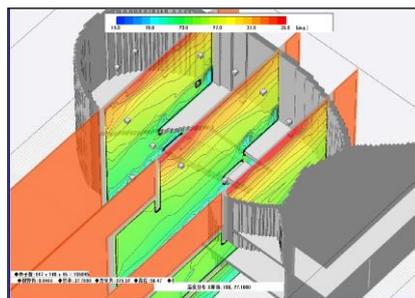
PMV の分布は下に見るように、風速分布や温度分布とは異なる。温度分布だけ見て快適と思われても、PMV では不快になっているのよくある事である。設備設計上、負荷の設定や運用条件の検討では注意が必要である。



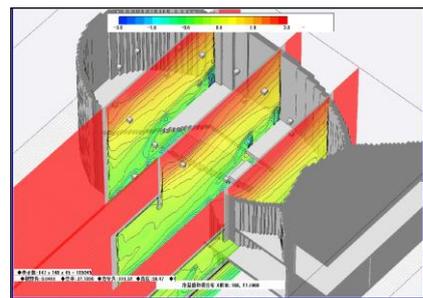
解析モデル



風速分布



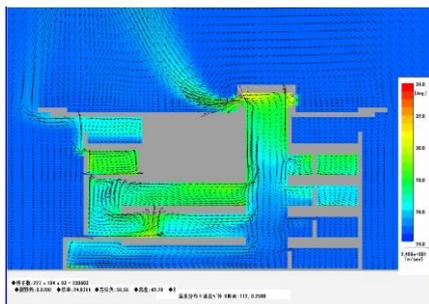
温度分布



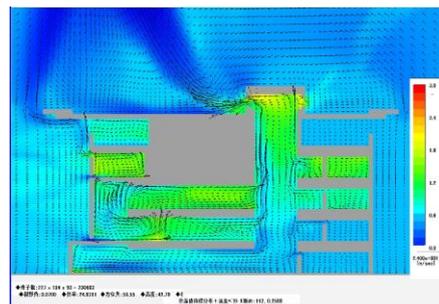
PMV 分布

### ◆某庁舎のPMV 解析

多くの人員が利用する建物では、PMV による快適性検討が有効である。建物の平面方向だけではなく垂直方向においても、どの部位が高温か過冷かなど、快適性が適確に判断出来る。空調条件の変更や熱負荷の配置など、運用も含めて適切な対策立案も容易になる。



温度分布



PMV 分布

### ◆ 換気効率指標 SVE(Scale for Ventilation Efficiency) とは

- ・空間中の循環状態を適確に判断・評価出来る指標。
- ・滞留時間など他の指標より遥かに利便性が高い。
- ・実務面としては建築分野では適用の機会が少なかった。

#### ・空気齢 (SVE3) :

吹出口から供給された新鮮空気がある点に到達するまでの時間

#### ・空気余命 (SVE6) :

空間のある点を通してから排出されるまでの空気の経過時間

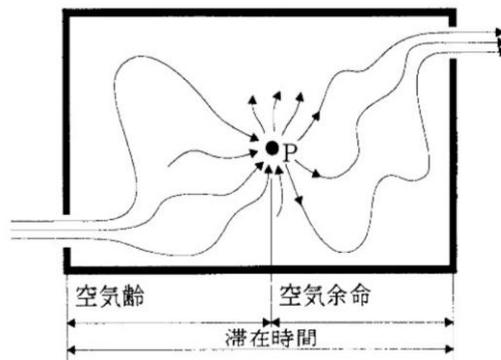
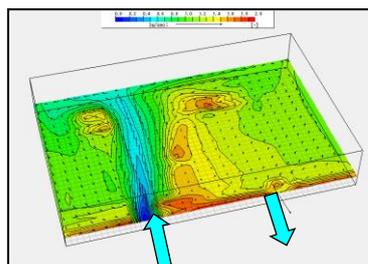


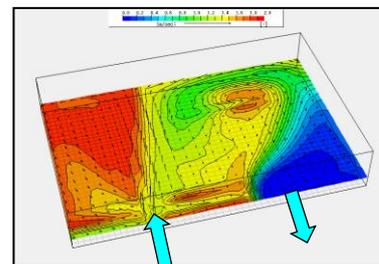
図-1 空気の年齢

### ◆居室のSVE 解析

空気齢では小さい部位が青く表示されるが、これは短時間で換気がされると言う事である。空気余命でも、小さい場合は早くその部位の空気が排出されるという事なので望ましい結果である。空気齢でも空気余命でも、均一で小さい事が望ましい。



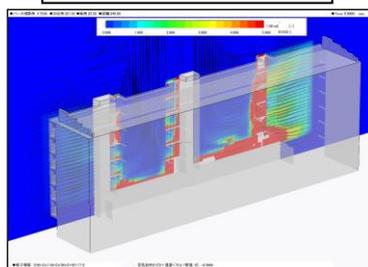
空気齢 (SVE3) 分布



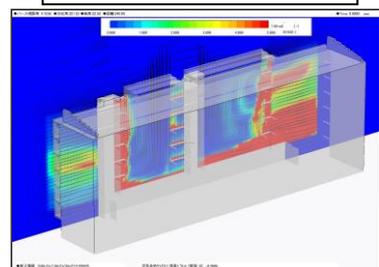
空気余命 (SVE6) 分布

### ◆換気のある集合住宅のSVE 解析

オフィスや集合住宅など利用者数の多い建物での換気は、コロナ禍のせいで大きな関心が持たれている。ここでは自然換気(温度差換気)を想定して全館の換気状況を予測した。屋根の有り無しについて検討したが、屋根ありの場合は、上部での圧力損失の増加のせいか、空気の排出が遅い部位がある事が分かった。



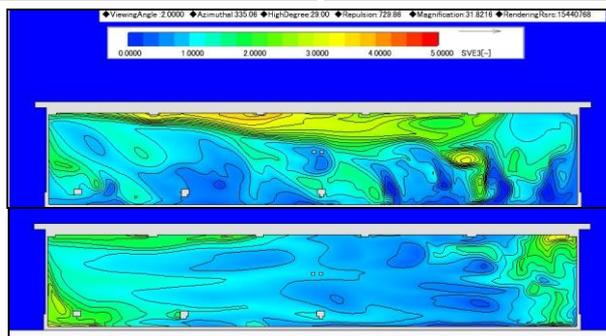
空気余命 (SVE6) 分布 屋根なし



空気余命 (SVE6) 分布 屋根あり

### ◆バルブステーションのSVE 解析

有害ガスの発生しやすい空間での空気齢 (SVE3) での換気状況の検討を試みた。現設計案では、SVE3 を見ると数値の高い部分が天井付近に偏在する事が分かる。換気開口を規則的な配置から、有圧扇の反対側に偏在するようにしたところ、天井付近のSVE3は大きく改善し、全体のSVE3も平均化し数値も大きく低減した。



現設計案

改善案

# クローズアップ 火災シミュレーション

## WindPerfect による火災シミュレーション

### <火災シミュレーションの目的>

- ◆煙流動を予測
  - 所定の時間内での避難可否判定
  - 熱・煙濃度の移流拡散の評価
- ◆火災現象の解明
  - ブリューム熱対流の性状、蓄煙現象、建物構造の影響、空調・換気の影響 など

### 二層ゾーンモデル

質量保存則

(煙層)

$$\frac{d}{dt}(\rho_s V_s) = m_p + M - R_{FO}$$

エネルギー保存則

(煙層)

$$\frac{d}{dt}(c_p \rho_s T_s V_s) = Q_c - Q_w - Q_R - Q_F + c_p m_p T_s + c_p M T_p - R_{FO} c_p T_s$$

(下部空気層)

$$\frac{d}{dt}(c_p \rho_o T_o V_o) = -c_p m_p T_s + R_{OF} c_p T_o$$

(下部空気層)

$$\frac{d}{dt}(\rho_o V_o) = -m_p + R_{OF}$$

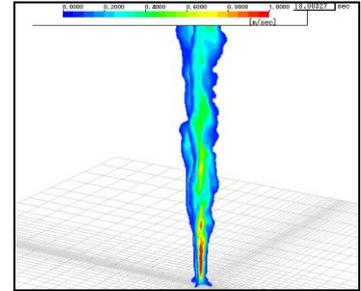
### <火災シミュレーションの手法>

- ◆CFD (計算流体力学)
    - 建物躯体・火源を設定し煙流動を詳細に解く
  - ◆二層ゾーンモデル
    - ネットワークモデル(回路網)で簡易に解く
- 二層ゾーンモデルが精度で著しく劣るのは明らか  
CFDは入力の手間暇が大きく計算時間も掛かる

### 二層ゾーン



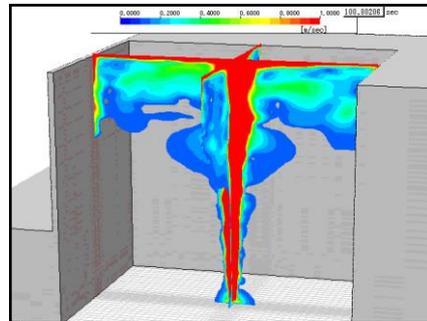
### CFD



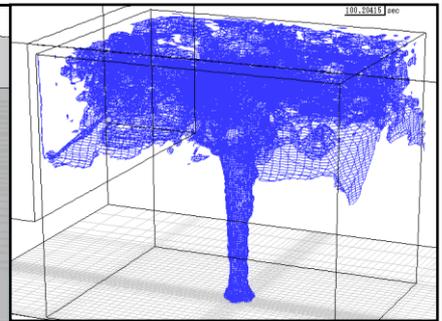
## 火災シミュレーションの実際

### ◆高天井空間の火災シミュレーション

最も単純な火災シミュレーションは、火源位置と燃焼速度を設定し、空間内での蓄煙状況を刻一刻とトレースする事である。その際、ブリュームは仮想火源から放射状に拡散し、空間天井に滞留し蓄煙する。DNSを使用し、この状況を解析できる。



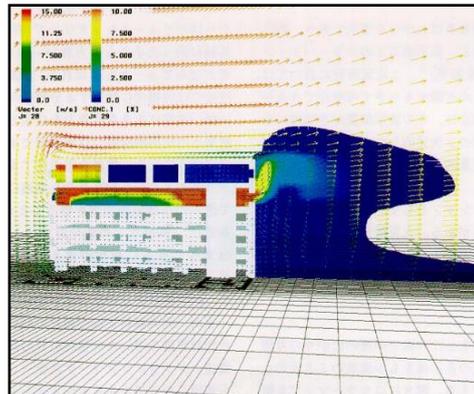
断面温度分布



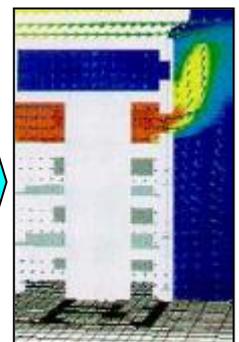
煙濃度ボリュームレンダリング

### ◆ダイエー尼崎店火災シミュレーション

1990年3月、ダイエー尼崎店で火災が発生し死者15人を出した。5階建て店舗の4階で火災が発生したが、火源を想定してシミュレーションを実施したところ、煙の滞留する部屋で死者が多かった事が確認出来た。火災の際、避難時の煙流動の予測が重要である事が示唆された案件であるが、4年後、設計段階での煙流動フィールドシミュレーションの実施義務は、法改定により実質消滅した。



断面煙濃度分布

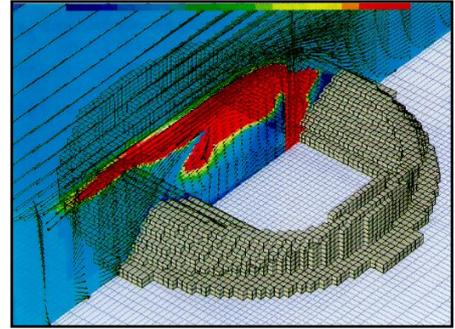


火源付近拡大

### ◆ドーム球場の火災シミュレーション

ドーム球場が1990年頃を中心に多く計画され、その火災設計検討の中で3次元煙流動フィールドシミュレーションが多用された。無風状態のみならず、観客が煙に巻かれる可能性のある有風状態のシミュレーションも盛んに行われ、異なる建物運用条件での屋根や躯体構造などの最適設計に大きく寄与した。

煙流動フィールドシミュレーションが法令で実質廃止された1994年以降に建設されたサッカースタジアム及び大規模集会施設については、火災安全的にはほとんど無防備であると言わざるを得ない。

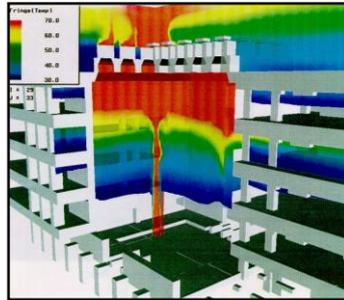


断面温度分布

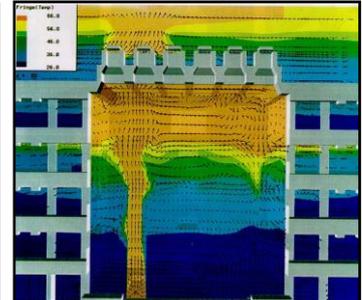
### ◆アトリウムの火災

建物構造が複雑な建築になると、煙流動フィールドシミュレーションの難易度は増すことになる。煙の回り方が複雑になり、各避難経路に煙層が降りてくる時間がまちまちになるからである。

蓄煙空間や排煙口などを正確に再現し、火源の位置・大きさも適切に変化させて、煙流動の状況をより正確に評価しなければならない。



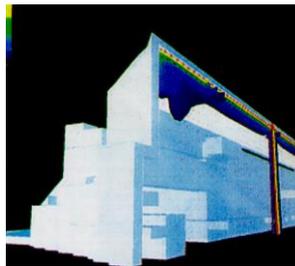
断面温度分布



断面煙濃度分布

### ◆ガレリアの火災

建物形状が一方に長いガレリアでは、蓄煙空間も扁平になり通常建築とは蓄煙状況が異なって来る。外気に面する壁面も多くなるため、熱貫流や日射の影響を大きく受ける。躯体の熱容量にも影響されるので熱伝導解析も必要である。



煙濃度 火災発生2分後



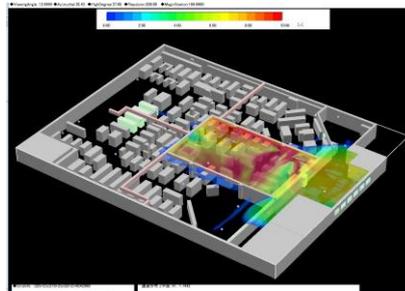
煙濃度 火災発生5分後



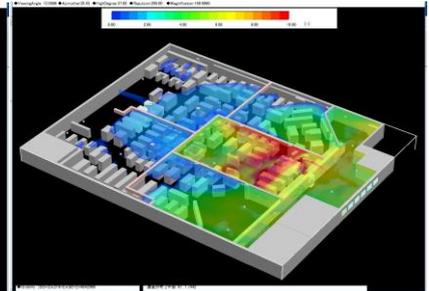
煙濃度 火災発生10分後

### ◆大規模店舗火災

大規模店舗ではより建物構造が複雑になり、空調稼働もあるので煙流動が複雑になる。本例では天井に沿ってバックヤードへ一旦煙が流出し、また店舗内に戻ってくるため、火源を囲む垂れ壁が十分機能していない事が分かる。空間をきちんと再現しての解析が必須である。



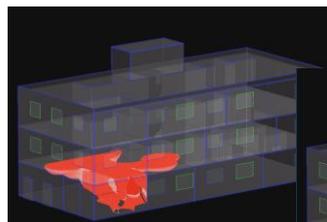
煙濃度 火災発生1分後



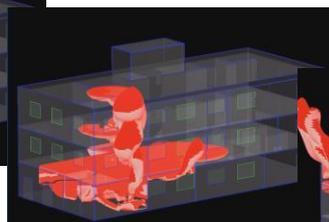
煙濃度 火災発生3分後

### ◆京都アニメーション火災

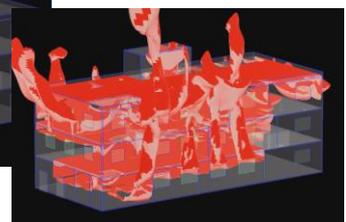
建物躯体・開口は出来るだけ再現し、火源はガソリン40Lが30秒で燃えると想定した。らせん階段を登った煙は約3秒で3階に到達し天井に当たって大きく広がる。10秒後には3階端部まで煙が到達し急速に煙が回っている。玄関横の窓からの煙の吹出しも激しい。



煙等値面 100°C 1.6秒後



煙等値面 100°C 3.2秒後



煙等値面 100°C 10秒後

## WindPerfect による一般熱流体シミュレーション

WindPerfect は建築・土木分野以外の、機械・電子・化学分野の CFD（計算流体力学）問題も解く事ができます。使いやすいインターフェイスと正確な結果を出すソルバー（解析エンジン）、分かりやすい可視化と卓越したプレゼンテーション機能はここでも健在で、非常に多くの解析実績があります。結果の可視化機能は特に定評があり、依頼者様が望む表現方法で結果をプレゼンテーション可能です。

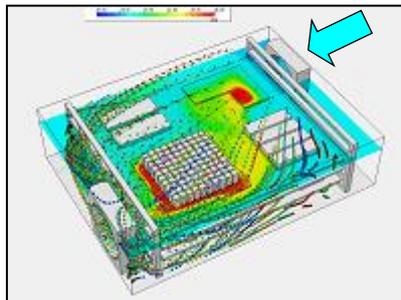
### 一般熱流体解析のポイント：

建築・土木分野で取り扱う建物・構造物は基本的に四角い角張ったものが多く、解析空間に角（特異点）が多い分だけ流れの剥離が起こりやすく、流れの乱れが生じやすいと言えます。剥離・再付着の構造が多いほど流れ場はそれだけ複雑になります。それに対して機械・化学分野などの解析は、丸い物体や角のない形状が多く、結果的に渦発生が少なく、流れ場の構造が大きく異なります。また熱伝達を伴う問題が一般熱流体問題では多く見られ、解析体系内の流量収支や熱量収支が満足されているかが厳しく問われます。そのような中で、WindPerfect はコンスタントに合理的な解をユーザーに提供する事で信頼を得てきました。定常問題、非定常問題を問わず、数 1000 万グリッドの大規模な問題にも対応可能です。ユーザー関数や依頼者様独自の評価機能の組み込みなど、ソフトウェアのカスタマイズを伴う問題も適宜対応します。

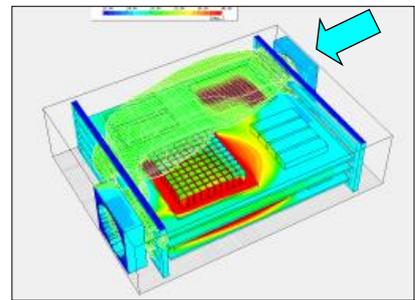
## 一般熱流体シミュレーションの実例

### ◆電子基盤熱解析：

常時通電されている電子部品は本来発熱性のものであり、その冷却状況は製品の性能に直結します。また各部品は単独で扱われる事はなく、基盤などの上で他の多くの部品とともに固定された状態で使用されます。それらを全て包含した適切な熱対策は、製品の低コスト化と、高性能化・長寿命化に欠かす事の出来ない技術になりつつあります。



断面温度分布＋流跡線

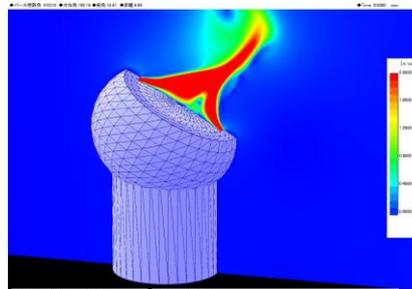


表面温度分布

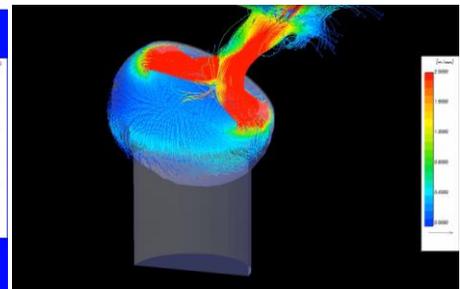
発熱の大きい素子に対してファンで取り入れた気流がヒートシンクを冷却している様子が分かる。各素子間の熱の影響も検討可能である。

### ◆新型空気清浄機の気流解析：

シンプルな形状で高効率の空気清浄機が、どのような機器構造で気流を起こすかを CFD で再現した。解析モデルの形状は WindPerfect のモデラーを用いて STL データで作成した。ヘッドの形状や吹き出し口の寸法を決めた以外はほとんど手間を掛けておらず、モデル化は 3 時間で終了した。シミュレーションでは実際の気流を適確に再現した。



断面風速分布

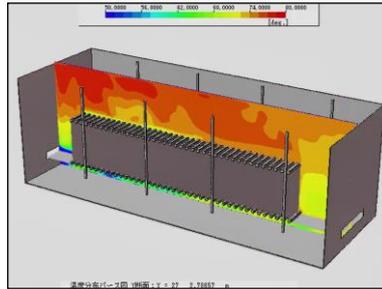


表面風速分布＋粒子軌跡

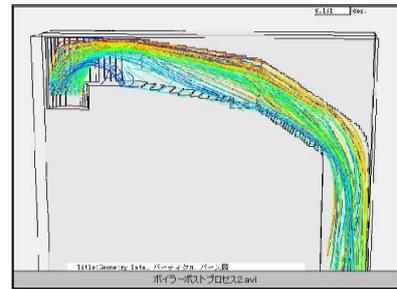
空気は円筒の上に置かれた丸いヘッドの上下から噴出し、中央部で合流して前方へと流れの向きを変える。上下の流量比で飛び方向が決まる。

◆炉内・ダクト流動解析

製造業では無数の炉が稼働しており、それらを繋ぐダクトも数多く存在する。炉内の温度分布予測は、コストの削減や、製品の品質・ターンアラウンドの向上に大きく資する場合が多い。ダクト内では状況によって複雑な流動現象が起こっており、様々なトラブルの原因となっており、それらの説明もシミュレーションの役割である。



断面温度分布

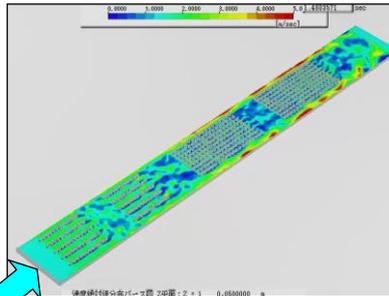


流跡線（色は流速）

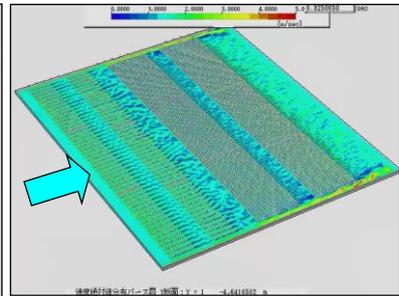
浸漬ノズルから熔融金属の噴流は、直進して短辺サイドに衝突する。上下に分かれた流れはそれぞれ渦流を形成し、下方へ介在物を巻き込む。

◆管群振動解析

熱交換器などでは、不規則な振動が発生して大きなトラブルになる事がある。それらは多くが熱交換器内に流通する媒体が、流路の角部や狭隘な箇所で振動しているのが原因している場合が多い。LES や DNS 等の非定常流体解析で詳細な流れ場を解明できる。



平面流速分布

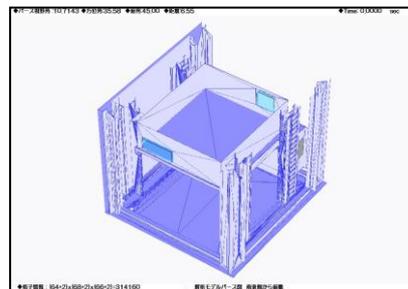


平面流速分布

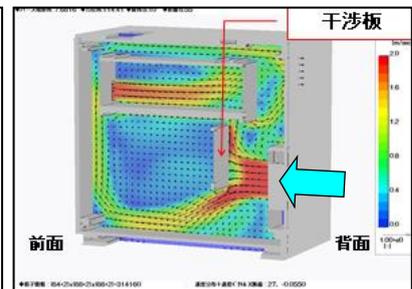
流路上流側で発生した流体振動が下流側にも波及して、全体の振動を助長する場合がある。現在では実物に近いモデルで詳細な解析が可能となった。

◆筐体内熱流動解析

オフィスオートメーションの進化により電子機器の熱発生をともなう什器の需要は旺盛である。ここでは排熱機構を有するデザインデスクを例に取り、その内部構造を再現して、熱発生機器とファンの関係性による熱分布の最適化について検討した。



解析モデル

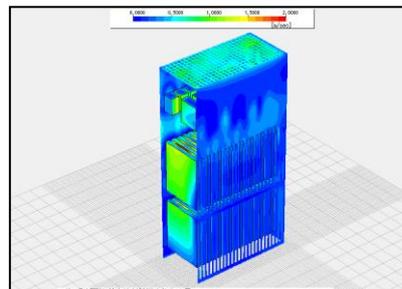


断面流速分布

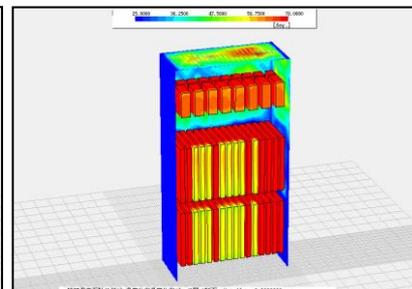
デスク内を CAD データで正確に再現し、内部の発熱機器・ファンや開口の配置を検討した。一部の機器より全体の効率化が主眼。

◆電源ラック内熱流動解析

データセンターのラック内は一律に通信系のサーバーだけではなく、電源維持に関する機器も配置されています。そのような機器は発熱量が多いため、熱排気を適切に行うための筐体の開口の寸法や配置などを、別の考え方で検討する必要があります。



ラック内表面風速分布



ラック内表面温度分布

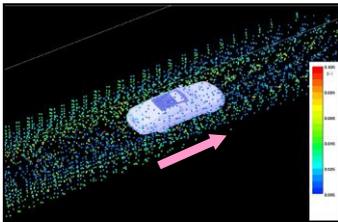
ラック内に機器が配置された状態を再現。機器の耐用温度が限られているため、必要に応じて開口を大きくしたり増やしたりする必要があります。

# クローズアップ 移動物体解析

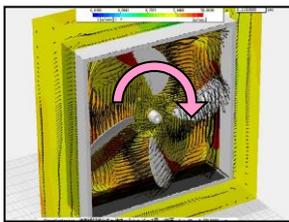
e-flow は移動物体解析機能を皆様を提供しています。動く物の周りで、空気あるいは水などの動きはどのようなになっているのでしょうか？ 熱との関係や拡散なども解明出来るのでしょうか。想像を越える驚きの世界によろこそ。

## ◆e-flow の移動物体解析機能

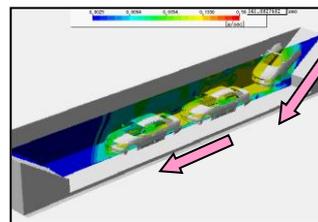
通常の CFD では動く物体の周囲の流れを計算出来ませんが、e-flow は特殊な解法により様々な問題を解くことが出来ます。物体の動きは基本的に平行移動と回転で表現しますが、どの時間にどのような動きを与えるかを自由に指定できるので、どんな複雑な動きを与えることも可能です。また、多数の物体を同時に動かすことも出来るので、人体や機械の動きを正確に再現できます。百聞は一見に如かず。その華麗な解析結果をご紹介します。



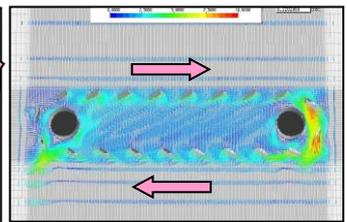
トンネル内を走行する車両  
(平行運動)



枠の中を旋回するファン  
(回転運動：何回転でも可)



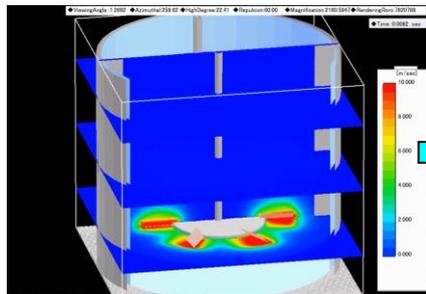
電着塗装槽内のボディ  
(平行移動と回転：複数物体)



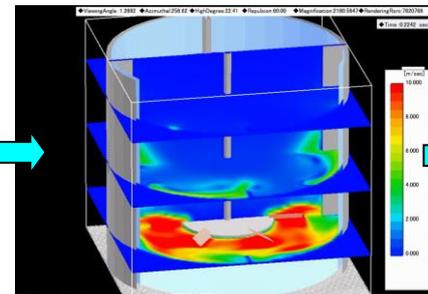
二重反転翼列を通過する水流  
(平行移動と回転・局所回転：20物体)

## ◆攪拌槽問題

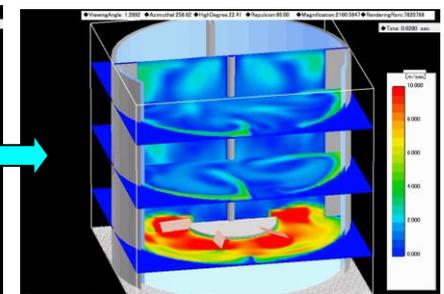
攪拌槽解析は物質の製造工程で極めて重要ですが、その流動特性は十分解明されていませんでした。攪拌翼の大きさや形状、槽や邪魔板との位置関係など、今まで分からなかった知見が、あたかも実物を扱っているかのように解明できます。



回転開始直後 ディスクタービン翼の周囲に徐々に流れが出来始める。



攪拌翼の回転の影響が槽下部に波及し、槽内の流体も回転運動を始める

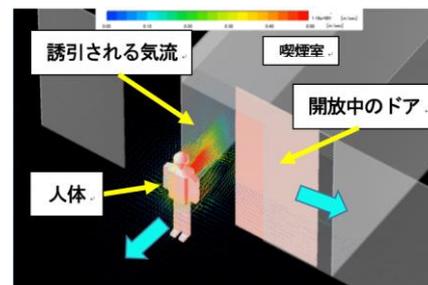


回転流で槽内壁に設けた邪魔板に沿って上昇流が生じ、全体の流動が始まる

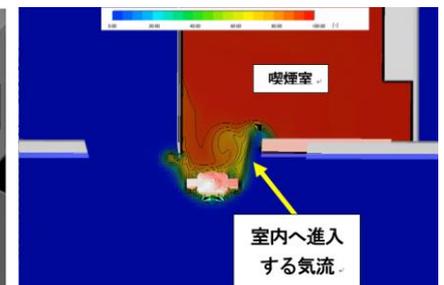
## ◆喫煙室移流拡散問題

健康増進法の施行により、どの企業も喫煙室の設置と運用が義務化されます。しかし喫煙室の設備設計の諸元は無いに等しく、その設計指針はこれから築かなくてはなりません。そのためには扉開閉に伴う空気の出入りと、それと同時に起こる人体による喫煙室内汚染物質 (VOC) の誘引挙動を解明する必要があります。

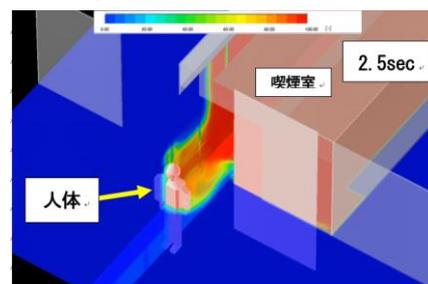
本例ではスライド式ドアを持つ喫煙室を想定してモデル化し、扉の開閉速度や人体の移動速度などを実際に合わせて設定しました。喫煙室から出てくる人が多量の汚染物質を室外に誘引する様子が、分かりやすく表現されています。人体が外に出ると同時にそのボリュームだけ外の空気が室内に取り込まれる様子も分かります。



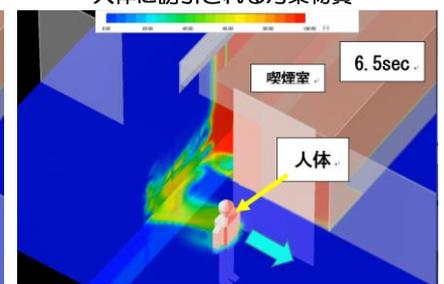
喫煙室 解析モデル



人体に誘引される汚染物質



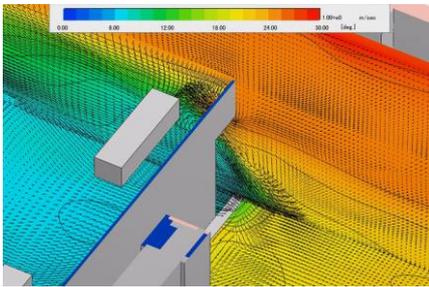
人体周辺の濃度分布 (2.5秒)



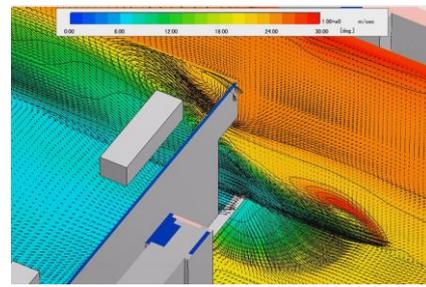
人体周辺の濃度分布 (6.5秒)

●扉開閉に関する問題

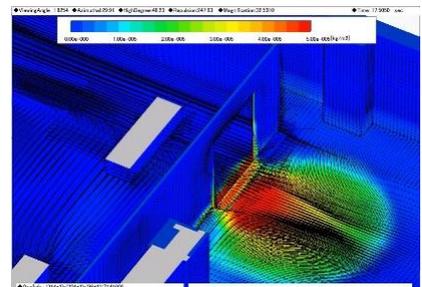
室内外に温度差がある場合、扉が空くと寒冷前線のように内部の冷気が室外に突出します。冷気は床近傍の躯体を冷却します。もし外気の湿度が多かったりすると、その湿分が冷却部に凝縮し結露が発生します。これは冷凍倉庫や冷蔵庫では日常茶飯事に起きている事で、冷却部の保温や断熱化など少なからぬ対策費用が発生します、



扉周辺の温度分布（3秒）



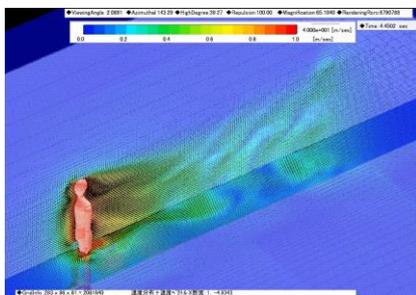
扉周辺の温度分布（10秒）



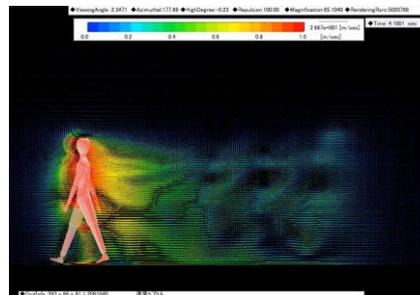
扉周辺床部の結露状況（10秒）

●人体歩行シミュレーション

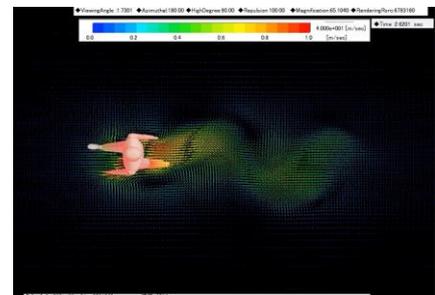
人や機械が空間を移動する際、周辺に大きな気流を起こします。クリーンルーム等であった場合、その気流は空間性能に悪影響を及ぼします。物が動く事による環境リスクの軽減をシミュレーションにて検討する必要があります。



歩行時に人体周辺に起こる気流



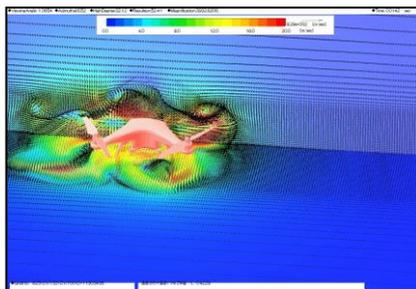
人体周辺の垂直風速分布



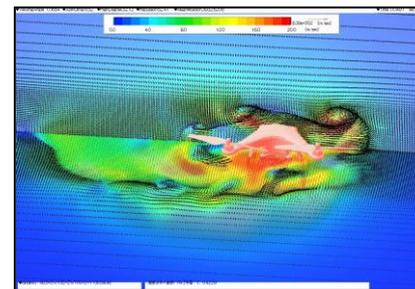
人体周辺の平面風速分布

●ドローンなど飛翔体の飛行

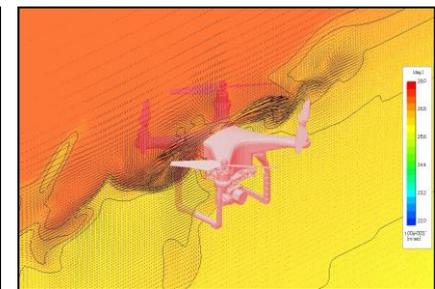
ドローン（UAV）もその周辺の気流がよく解明されていません。特に揚力を得るために大きなダウンウォッシュ（下降流）が発生してドローン周辺の気流を大きく乱します。特に閉空間の場合は作業環境を乱す事があります。



ドローン周辺の気流（0.014秒）



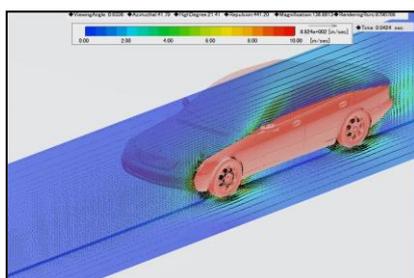
ドローン周辺の気流（0.049秒）



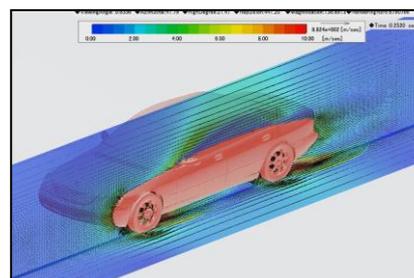
熱だまりの中を飛翔するドローン

●タイヤが回転しながら走行する自動車

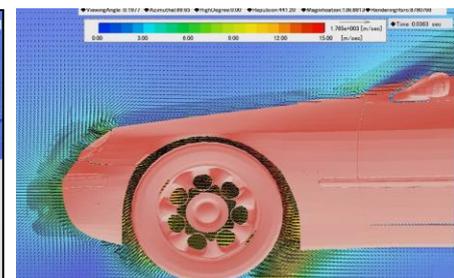
自動車の空気力学は既にポピュラーになっていますが、難しい問題はまだまだあります。ホイールハウス内でタイヤが回転した際のアンダーエフェクトへの影響等はまだまだ十分解明されていないようです。ここでも移動物体解析が有効です。



車体周辺の垂直風速分布（0.066秒）



車体周辺の垂直風速分布（0.242秒）



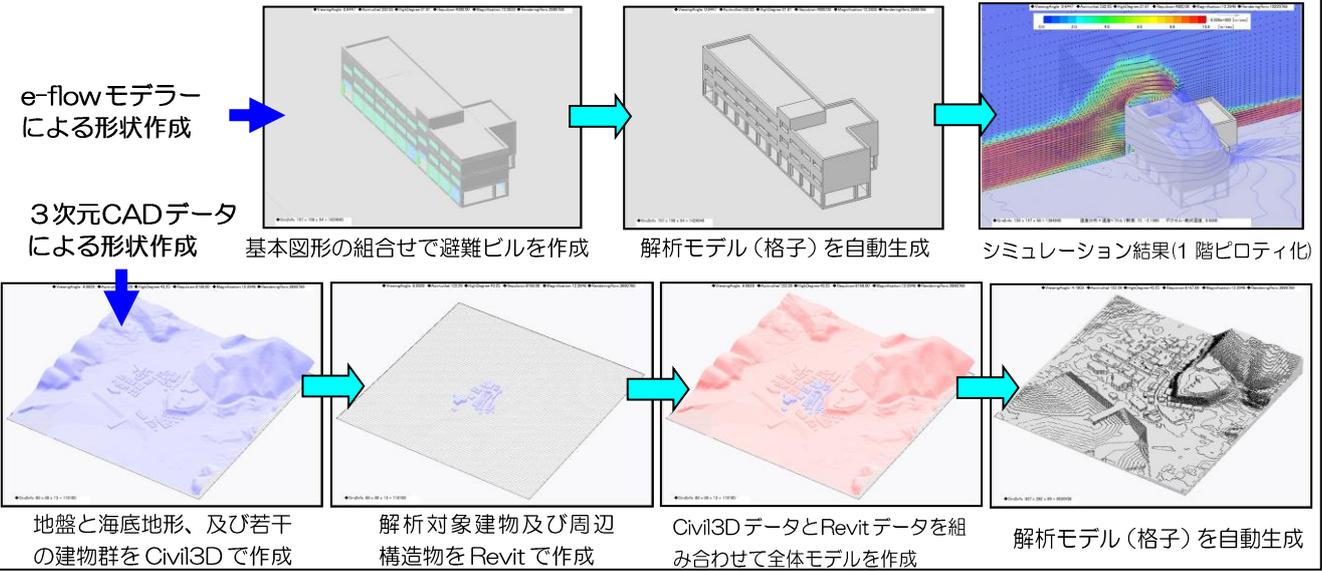
ホイールハウスの垂直風速分布

# クローズアップ e-flow 津波・氾濫解析

e-flow 津波・氾濫解析版は、3次元 VOF 法により津波などの水理工学的な流れを解いて、浸水域の予測や、荷重・転倒モーメント評価が出来るソフトウェアです。津波や水理解析の入波条件の設定が迅速・簡単に行えます。また、構造物周りの水流を分かりやすく可視化し、街区の浸水状況や各作用力の評価をすることができます。

## ●e-flow の津波入力

津波や氾濫流の解析を実施する際に、気になるのが入力のしやすさです。e-flow は独自のモデラーでの形状入力も可能ですが、複雑な地形や建築構造物を3次元CADデータで作成してインポートするCIM (Civil Information Modeling) 対応も可能です。地盤や海底地形などの入力は、代表的なCIM ツールのCivil3D で、建築構造物の入力はBIM (Building Information Modeling) ツールの世界標準であるRevit のデータを利用できます。ビジュアル的にも確かな非常に精緻な形状モデリングが可能になりました。これらは、小規模のモデルから、1000万メッシュ以上の大規模解析にも対応しています。

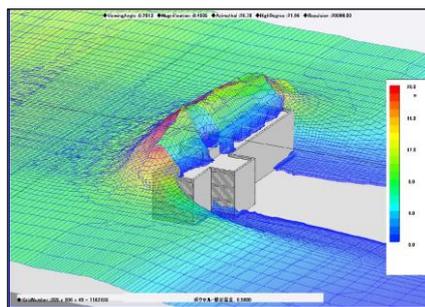


## ●e-flow による様々な津波・氾濫解析

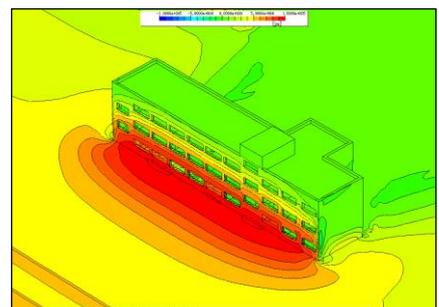
津波・水理問題の種類は非常に様々です。ここではそのうちのいくつかを例に取りご紹介します。

### ◆避難ビル津波荷重シミュレーション

自由表面を有する津波シミュレーションの実施には、非圧縮性流体の解析技法と津波の自由表面形状を正確に表現する自由表面捕捉が重要である。ここでは避難ビルを対象に、段波における水流の挙動と津波荷重の時間変化の把握を目的に解析を行った。



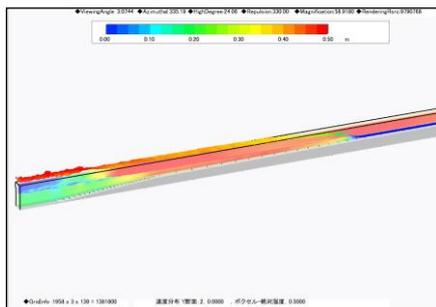
避難ビル 衝撃段波発生時の界面形状



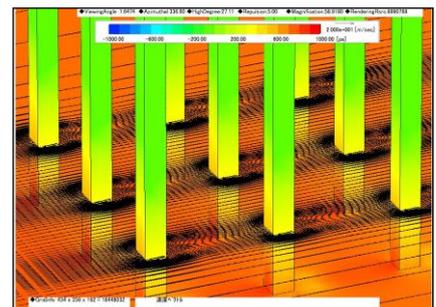
避難ビル 構造物表面の津波荷重分

### ◆国交省基準整備促進事業 (2014年)

津波の波力評価の基準策定のためのシミュレーションを、国交省の事業に参画し実施した。水理実験との整合性検証を行った上で、粗度面遡上解析や、複数の柱状体や面で構成される構造物の波力を評価した。構面解析では、開口率の増大による波力の低減効果は見られなかった。



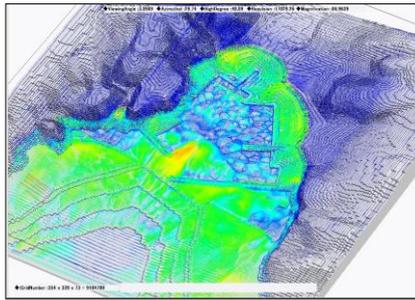
粗度面を遡上する津波 (流速分布)



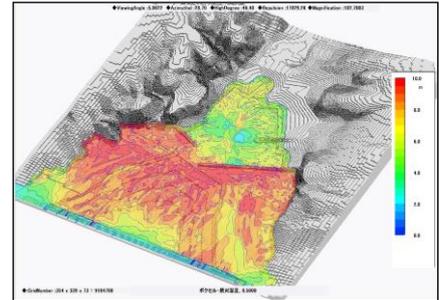
柱状体 (9本) の波力分布

◆鮎川浜津波遡上シミュレーション

具体的な解析例として、宮城県鮎川浜の事例を挙げる。対象地域は捕鯨で著名であったが、東日本大震災で大きな津波被害にあった。シミュレーション結果では、津波が狭い湾内奥まで遡上する様子が分かる。防波堤が遡上防止に機能しなかった可能性もあり、防波堤主体の津波被害防止策に疑問が残る。



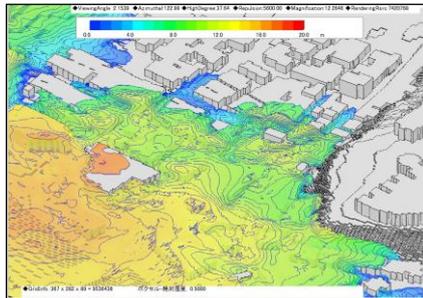
津波到達時 表面流速分布



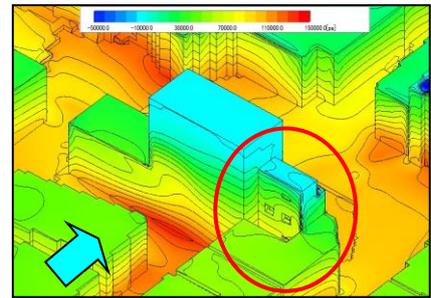
津波到達時 海面レベル

◆女川津波遡上シミュレーション

東日本大震災で、女川では某旅館の建物が100m以上流されました。この時の周辺地形を詳細に再現し、津波遡上解析を試みました。当該街区に津波が侵入する様子や、某旅館とその周辺の波圧状況なども確認出来ました。どのような街並みを形成し建物の損壊をどう防ぐか、シミュレーションの真価が問われます。



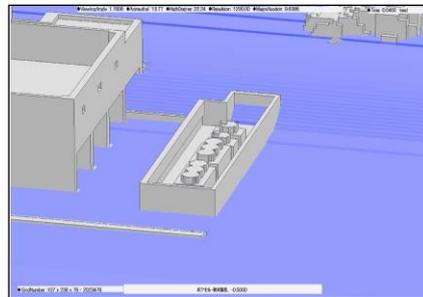
津波遡上時の挙動 海面レベル



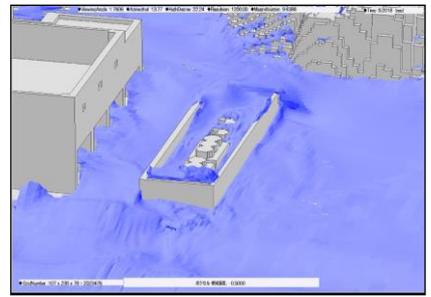
倒壊した建物周辺の波力状況

◆引き波シミュレーション

津波解析では通常押し波の条件でのシミュレーションを行います。引き波でのシミュレーションも可能です。津波が遡上しきった状況を初期値として、通常の津波解析を行います。押し波解析との違いは、押し波は時間とともに徐々に流速が遅くなりますが、引き波は時間経過とともに流速が速くなる点です。



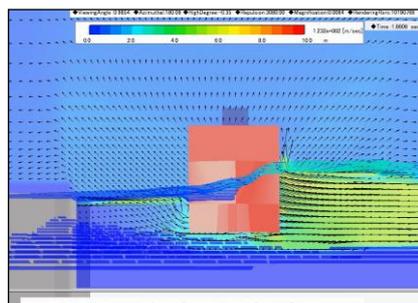
引き波時の挙動 海面レベル初期



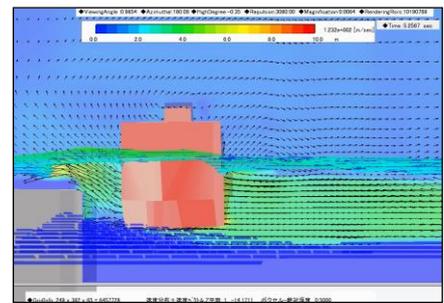
引き波時の挙動 海面レベル10秒後

◆船舶の浮遊解析

津波で流された浮遊物による破壊は大きな被害をもたらします。ここでは流体-構造連成問題として船舶の浮遊を扱いました。岸壁近くに停泊していた船に、津波の波力が掛かり船が動き出し流されます。岸壁に遡上しきれなかった船周辺の海水は部分的に逆流し、船を押し戻す方向に働きます。



津波に流される船舶 2秒後



津波に流される船舶 5秒後