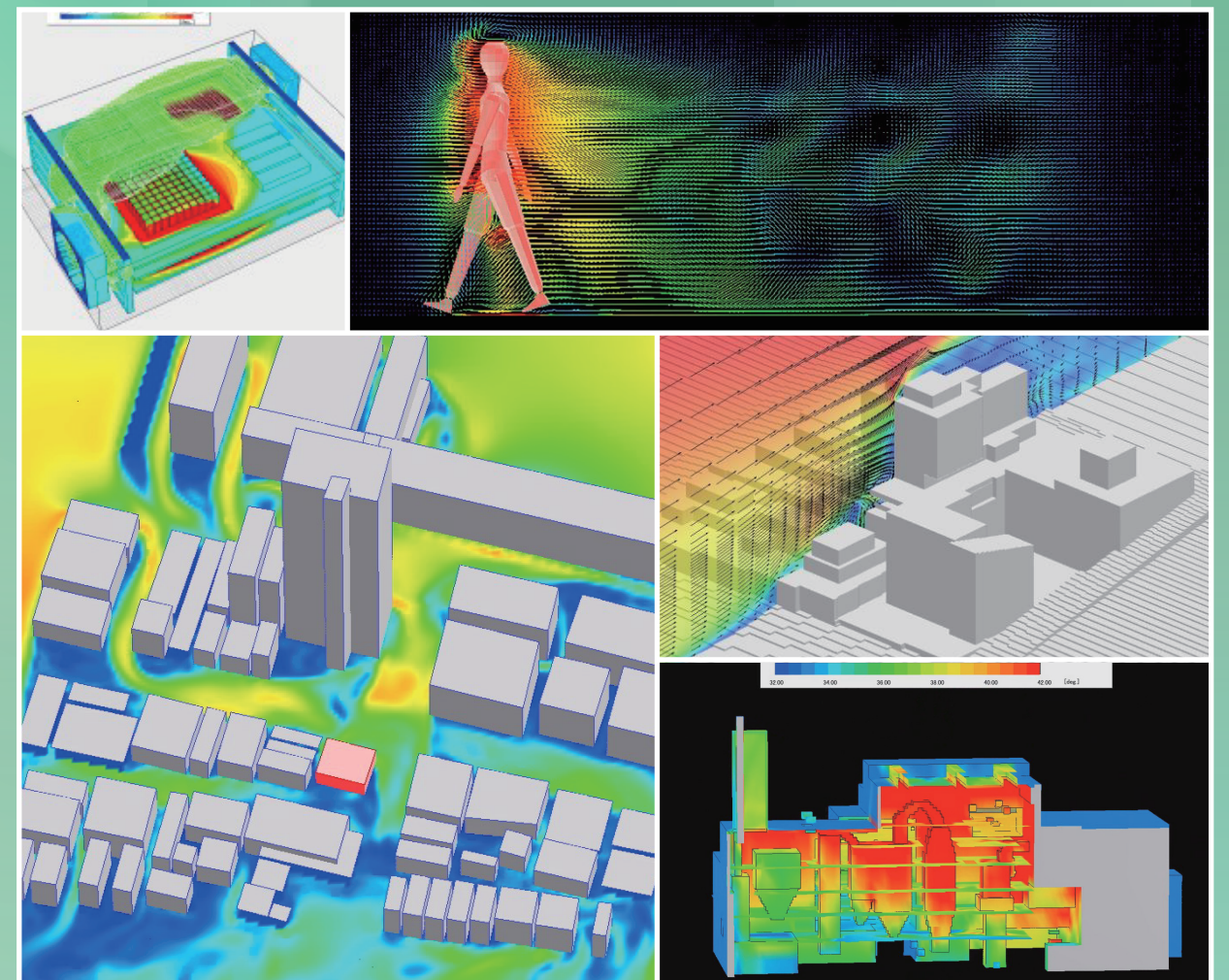


解析クローズアップ



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

基本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利益性の高いプランを作成する上で、風洞実験に比べて費用が掛からず解析ターンアラウンドの短い数値シミュレーションは、設計の必須技術となっています。

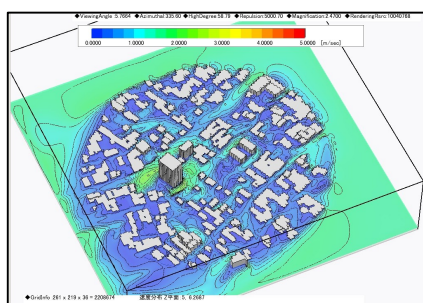
ビル風・風環境シミュレーションのポイント

先ずシミュレーションを何の目的で行うのか考える必要があります。新しく建物が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。その際にビジュアルとしてのシミュレーション結果は大きな説得力を持ちます。またシミュレーションの結果として得られる風害ランク評価は、風害裁判の証拠に採用されるほど強力なものです。その作成を左右するのは解析担当者の技量です。弊社は住民説明会・裁判に対応出来る豊富な経験と知識を有しています。簡単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なのです。

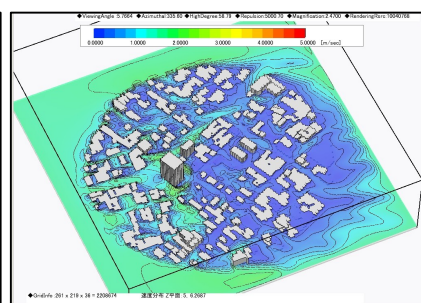
風環境・ビル風シミュレーションの実際

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卓越風（当地で出現頻度の高い風）について実施されますが、住民やお施主が気にする風向でも行われる事があります。簡易な解析ですので裁判資料にはなりません。



風速分布 風向 ENE

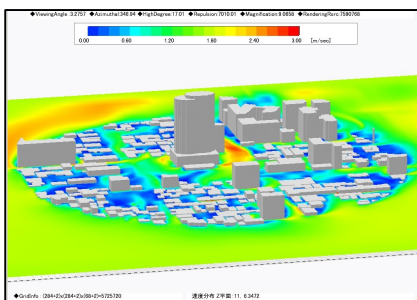


平面風速分布 風向 SSW

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。

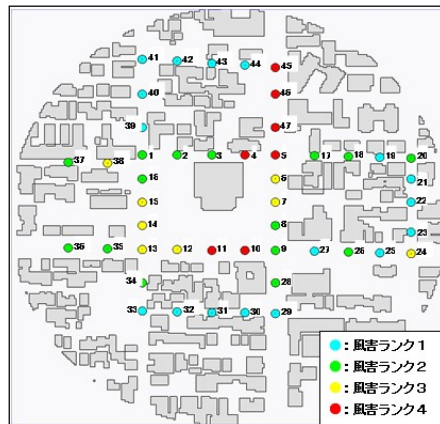
高層ビル風害シミュレーション

二つ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・対策後の評価の比較が重要となります。



平面風速分布 風向 SW

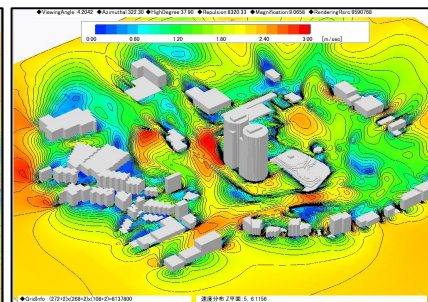
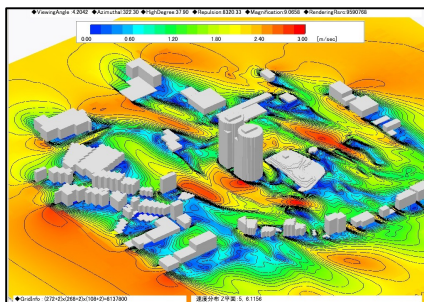
評価点は敷地内外の重要箇所や周辺道路路上に置きます。ランクは4段階で高いランクでは居住不適とされます。



風害ランク評価 村上式

都心風況シミュレーション

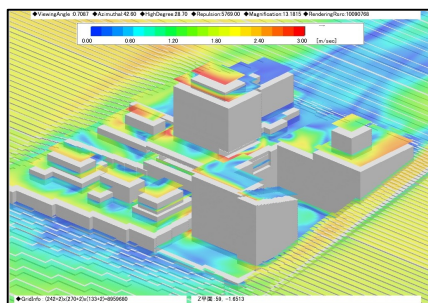
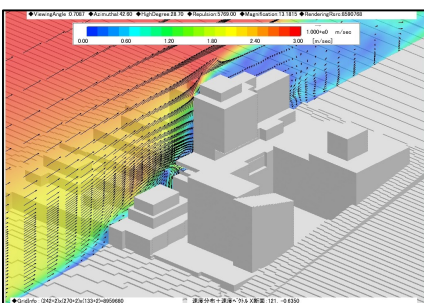
高層建物が建設されるのは大都市など市街地が多く、その場合周辺には同様の高層建物が有る事があります。建物に与える風に対しては風上側構造物による遮蔽の影響が大きく、解析範囲を大きく取って周辺の構造物をきちんと再現する必要があります。風のシミュレーションが年々大規模になる理由です。



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。

傾斜地風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。



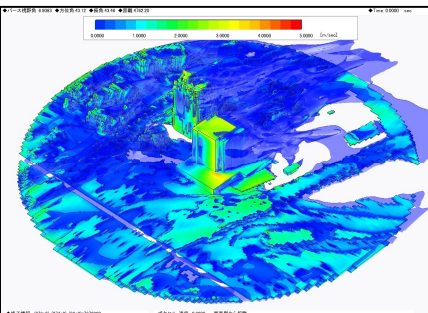
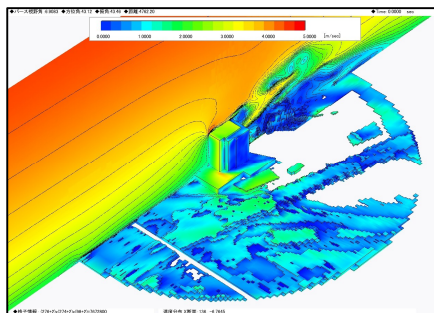
断面風速分布

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無い場所で、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。近隣と距離を大きく取れる植栽配置をシミュレーションにより検討するなどの対策が効果を発揮します。



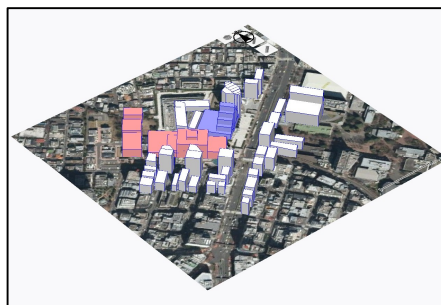
断面風速分布+表面風速分布

表面風速分布+風速等値面

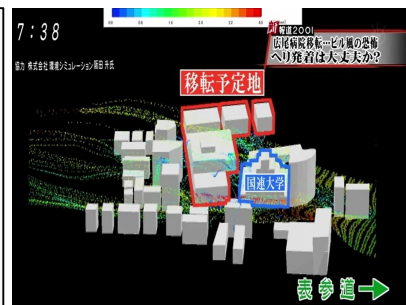
高層建物後方では、風が大きく乱れている様子が分かる。また高層建物直近の角部では、風速が極端に速い部位がある事が予想される。

テレビ放映シミュレーション

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訪れます。本例は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

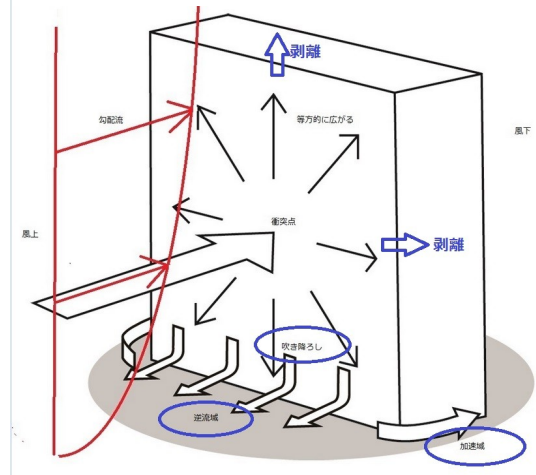
WindPerfect による風荷重・風圧シミュレーション

＜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なになっているのでしょうか。

建物前方に関しては、

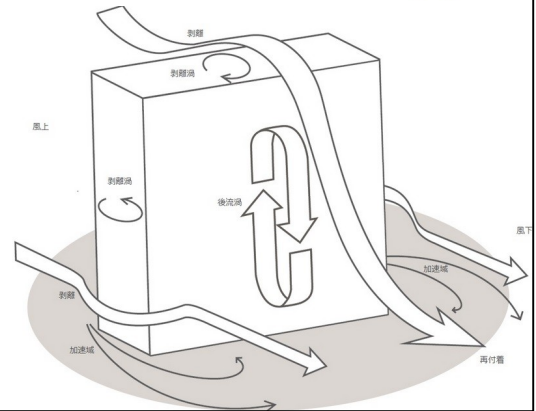
- ・建物アプローチ側に風が当たる
- ・風が当たった場所から、流れが放射状に拡散する
- ・真下に向かう流れは反転して逆流域を形成する
- ・斜め下方への流れは、建物角部を起点に等加速域を形成する
- ・側方への流れは建物側方角部で剥離して渦流となる
- ・上への流れも建物軒高角部で剥離し大きな渦流を形成すると、かなり複雑な流れになっています（右方上図参照）。



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べき乗則に復帰
- ・上への流れも剥離した流れが後流に巻き込まれる（右方下図参照）。

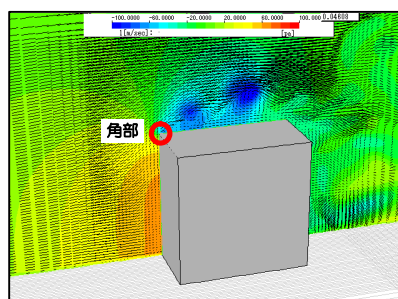
建築構造物は角があるので、一般に航空機や自動車などのブラフボディ周りの流れよりも、構造が複雑で解くのが難しくなります。



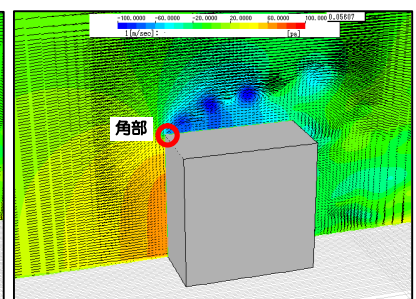
風環境・ビル風シミュレーションの実際

◆直方体構造物の風圧シミュレーション

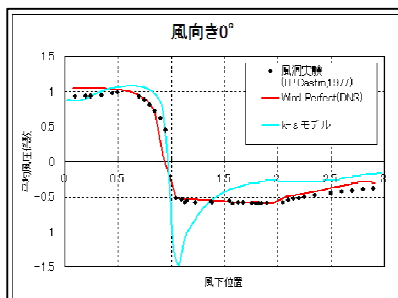
都市の大規模ビルディングは直方体をベースにした形状が多いのですが、その直方体が曲者でして、角部は流体力学的な特異点になっており、そこから渦が放出します。（右図参照） この渦をいかに再現するかが風圧解析の本質に繋がっています。一般に風圧解析には乱流モデルとしてDNSやLESが使われますが、これはRANSだと流れ場を定性的にすら再現出来ないからです。右の2つのグラフはそれを示していて、DNSでの実験値との一致は十分です。それから、風圧解析には陰解法は全く無力なので、それもご注意頂いた方が良いでしょう。



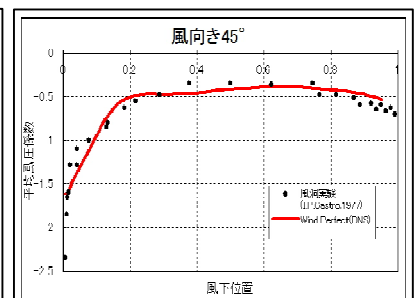
断面風圧分布 0.047sec



断面風圧分布 0.057sec



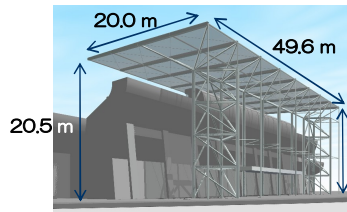
実験とシミュレーションの比較 0°



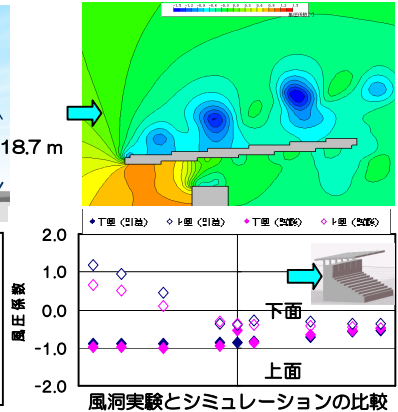
実験とシミュレーションの比較 45°

◆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。

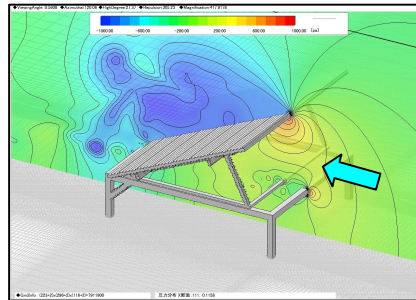


比較的小規模な風洞を用い、屋根勾配、背面開口率、観客席勾配などを合わせた部分模型による一様流下での風洞試験を実施。

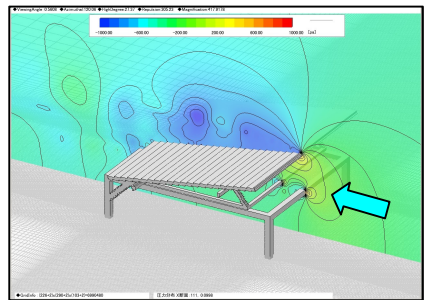


◆太陽光パネル風荷重解析

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。



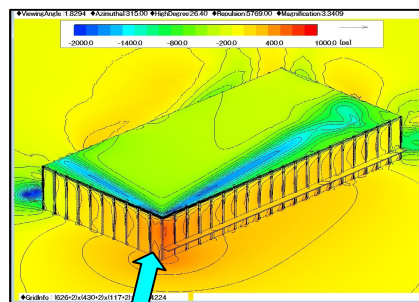
断面風圧分布 仰角 30°



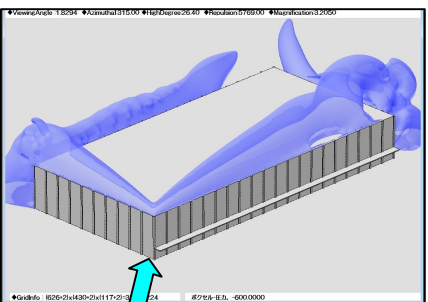
断面風圧分布 仰角 10°

◆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。



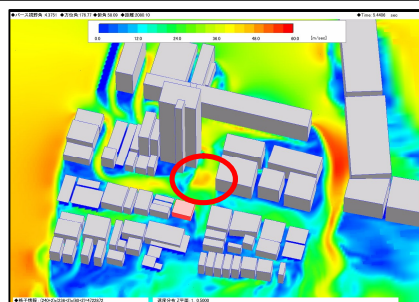
表面風風圧分布



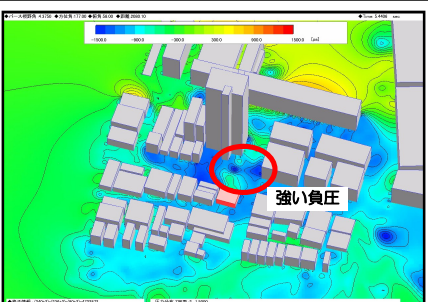
等風圧面 -600Pa

◆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。二通りの解析を行い、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。



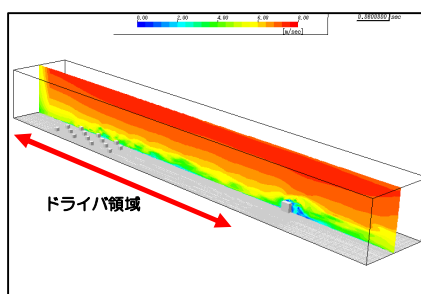
平面風速分布



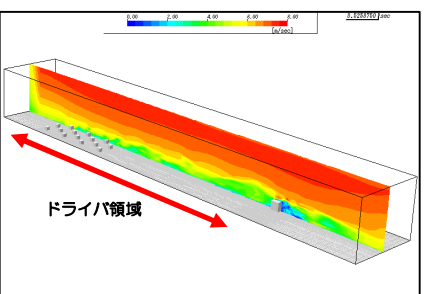
平面風圧分布

◆変動流入風

荷重指針に沿った風荷重評価には変動流入風の設定が必要ですが、まだ定番の手法は存在しません。弊社ではドライバ領域を用いた変動流入風の発生手法をベースに、ピーク風力や変動層風力係数などの風荷重評価を可能としています。



断面風圧分布 0.08sec



断面風圧分布 0.53sec

クローズアップ 外部熱気流シミュレーション



WindPerfect による外部熱気流シミュレーション

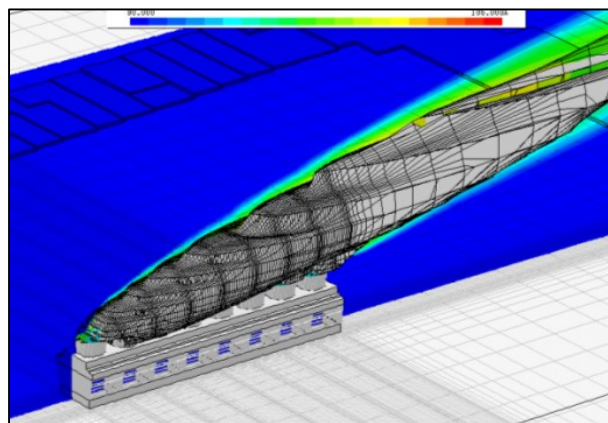
冷却塔・室外機・チラー・煙突などの熱発生機器のシミュレーションのニーズが急増しています。熱気流の移流拡散予測の精度を確保するには高温気流の浮力評価が重要です。熱源からのブリューム熱対流を再現する必要があるからなのですが、自然換気解析と同様にきちんと浮力の評価をすると同時に、自然界に起こる風の条件を風工学等の知識に沿って設定する必要があります。弊社はそういった業務に20年近くにわたって従事してきており、様々な外部熱気流問題の解決に尽力してきました。最近は多数の熱源を持つ問題や、複雑な周辺地形あるいは建物群の影響下での評価など、複雑さを増した問題に実直に取り組んでいます。外部熱気流問題にフォーカスした事例の数々をご紹介します。

<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。

◆多連冷却塔の移流拡散シミュレーション

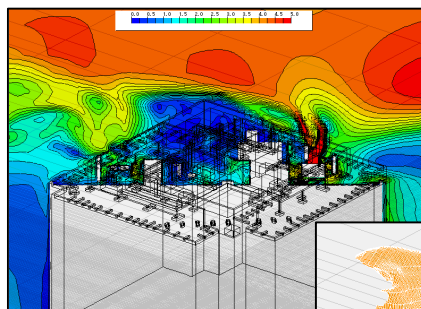
冷却塔に関するトラブルの代表的問題として、白煙問題があります。湿分を多量に含んだ熱排気が吐出して外気に触れ、水蒸気が凝縮して白煙化します。特に冬季に深刻で、周辺の建物や道路の視界を大きく阻害する場合があります。対策としては、吐出口に過熱蒸気を追加して排気の相対湿度を下げる方法や、冷却塔そのものの稼働率を下げる方法が取られますが、あらかじめ風向や気温などによる気象条件毎の拡散予測があれば、対策も立てやすいです。



多連冷却塔の白煙の状況

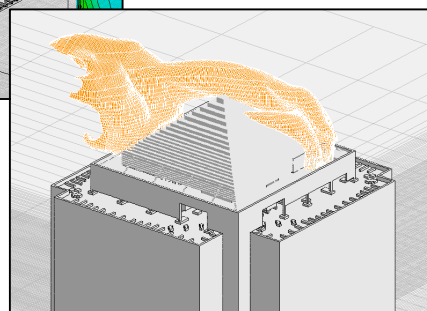
◆高層ビル塔屋の移流拡散解析

ビル塔屋に複数の冷却塔や室外機が設置されている場合、どの機器間でショートサーキットが起こっているかの評価は困難を極めます。一般にビル塔屋では風が強く、それが鳩小屋などで跳ねて（剥離して）強い乱れのある流れが発生します。その中で機器間の給排気の関係性からショートサーキットを起こす原因となっている機器を見つけ出すのは、シミュレーションの助けなしでは不可能と言って良いでしょう。



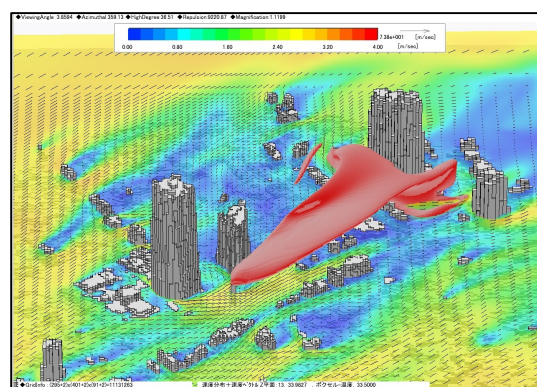
塔屋付近の垂直温度分布

塔屋付近の熱気 (Voxel)



◆市街区での換気塔排ガスの移流拡散解析

市街区に熱排気を伴う施設がある場合、気象条件によって排気の拡散が住環境に影響する場合があります。本件は換気塔からの排気が、建物群による風の道の影響を受けて風下側に移流拡散して広がる様子がよく分かります。風下側の建物周辺では、排気による温度上昇の影響は考えられませんが、臭気に関しては気象状況によっては大きいかも知れません。また外気温の高い夏季には、温度差が余りない熱排気が風に巻き込まれ地上付近に下降して来る場合があります。



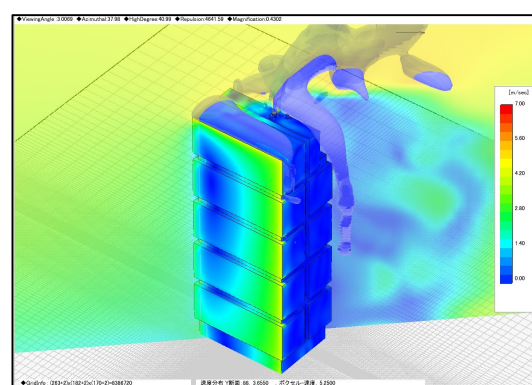
平面風速分布と高温域 3次元表示

◆超高層ビル煙突排気シミュレーション

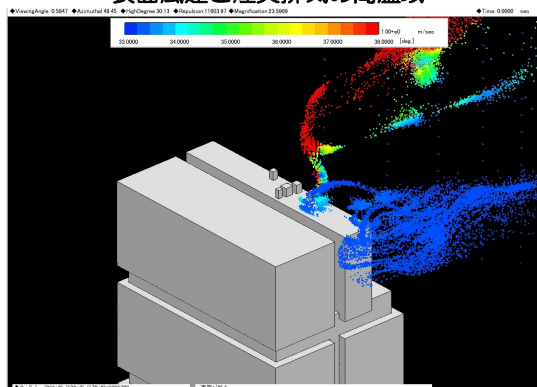
超高層ビルには必ず大きな煙突排気が塔屋に設置されます。ビル屋上付近は非常に高風速なので煙突付近の排気は乱れて想定外の箇所が過熱する可能性があります。高温になった躯体は変色やひび割れ等に繋がるので、適切な対策が必要になります。

本解析でも、超高層ビルの周辺気流は常に高風速であり、自身の剥離流により後流域も含めて乱れています。いくつかの風量の異なる煙突排気は、自身の浮力により上昇して後流側に流れて拡散するものもあれば、大気に混合して浮力を無くし塔屋周辺の渦流に巻き込まれて滞留するものもあります。

運用状況にもよりますが、塔屋周辺の外装を熱気で痛めないような煙突配置を心がける必要があります。また、自社建物や周辺建物、ヘリポート等に影響を及ぼさない煙突配置策定が肝要です。



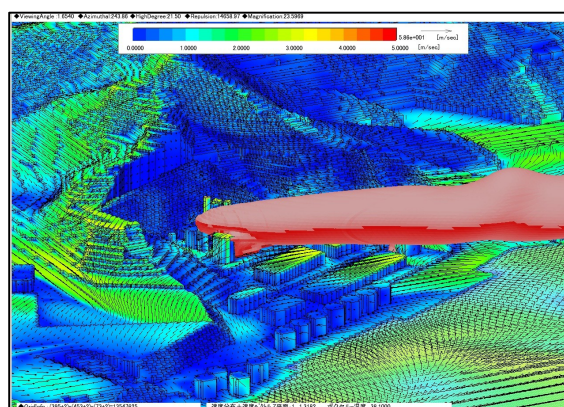
表面風速と煙突排気の高温度域



排気の粒子軌跡

◆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。周辺の地盤形状や起伏はシミュレーション結果に直接影響するので、適切な地形データから入念に調査して出来るだけ正確にモデル化を行います。本件は、丘陵に囲まれ海に面した工場からの煙突排気の予測に当たり、図面や国土数値情報などを元に、敷地周辺あるいは対岸に位置する住戸や工場建家を逐一モデル化し、排煙の影響がないかを予測しました。



煙突からの煙拡散状況

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

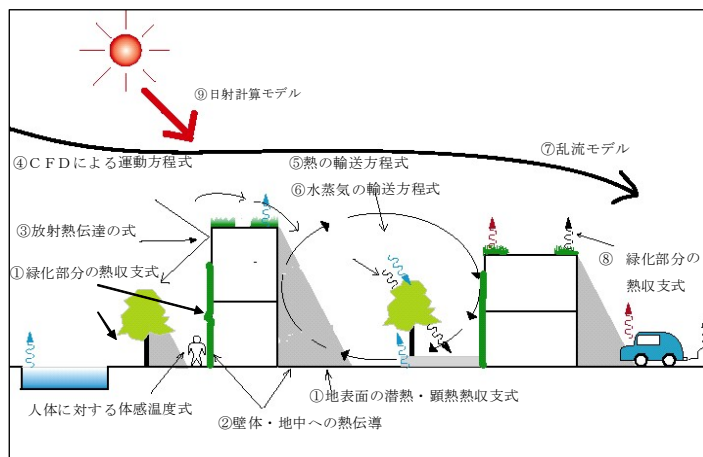
TP法による3次元高精度輻射解析

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

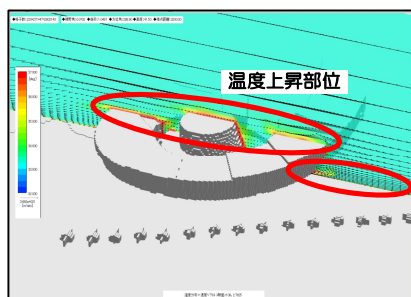
◆緑化・開水面(池・川)の熱移流評価

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

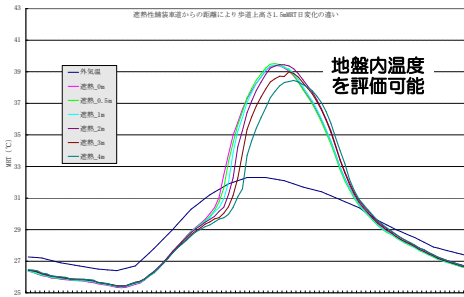


●風速分布より、躯体-空気等の 移流熱交換計算・樹木水分蒸散 等の移流拡散計算を精密に実施 (右図参照)

●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 一日射、建物・樹木日影を考慮 (右グラフ参照)



風により躯体・地表面の熱が奪われる

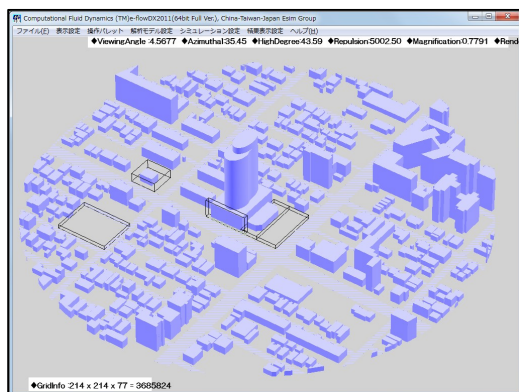


躯体・地表面の温度変化を深さ方向に評価

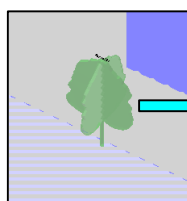
ヒートアイランド解析の実際

◆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CAD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



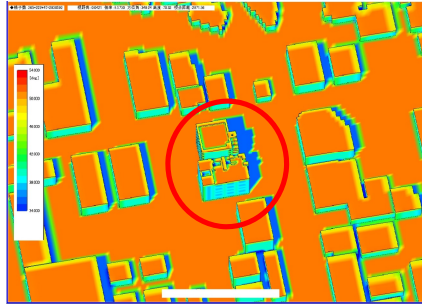
植栽モデル
(パーツ)



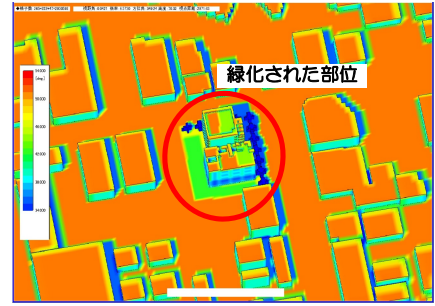
躯体・地表面の表面温度分布

◆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有効に支援する事が出来ます。



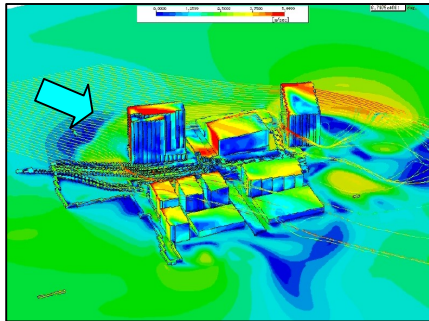
表面温度 対策前 (上方から俯瞰)



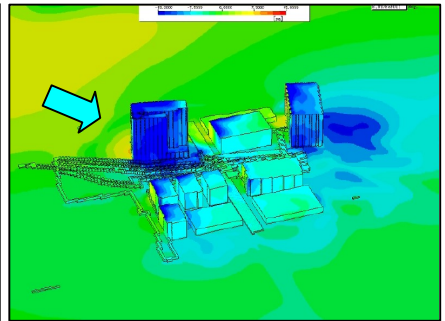
表面温度 対策後 (上方から俯瞰)

◆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した。



躯体・地表面の表面風速分布



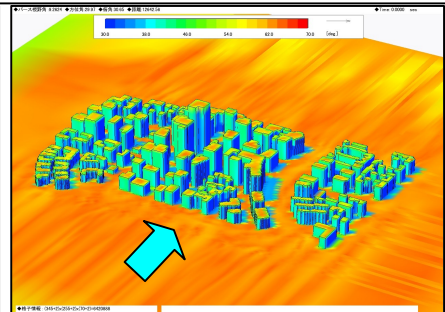
躯体・地表面の表面温度分布

◆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

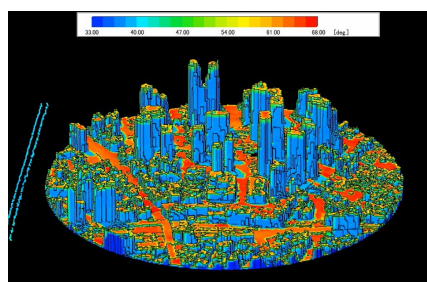
◆江東区広域ヒートアイランド解析

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の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)

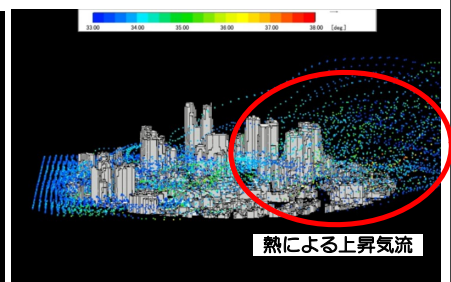


◆テレビ放映シミュレーション

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。2013年8月22日NHK「おはよう日本」で全国放映。



躯体・地表面の表面温度分布



粒子軌跡パース (色は風速)

クローズアップ 空調シミュレーション

WindPerfect による空調シミュレーション

<背景>

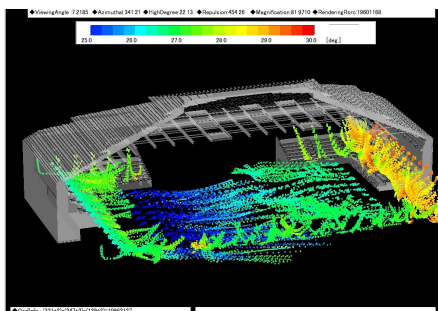
空調解析は、建築・土木分野で 1980 年代から適用されてきた解析であり、解析内容の種類が非常に多く、オフィスから大空間まで規模も様々です。ここでは空間の用途別の解析を取り上げていますが、BIM 業務への展開や新しい空調方式の開発・検証などを通して、実務での建物作りへの貢献がますます重要となっています。

<空調シミュレーションのポイント>

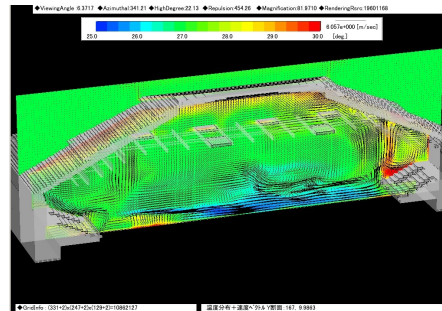
- ・制気口と全体空間との関係 : 吹き出しの到達範囲予測、大空間居住域での全体温度分布の把握。
- ・特殊な空調の適用、換気回数の多い空間 : ショートサーキットや淀みのある部位の予測とその対策立案。
- ・熱伝導との連成 : 躯体壁体及びサッシなど窓周りの結露検討、冷凍庫・冷蔵庫などのヒートブリッジ問題。
- ・輻射との連成 : 工場など高温設備のある空間での輻射の評価、輻射冷暖房の検討など。大規模問題にも適用。
- ・非定常解析 : 運用形態の変更や負荷変動に対して、空間の快適性や局所換気状況を検討するニーズの高まり。
- ・指標による評価 : 単に気流や温度の分布で検討できない問題を体感温度 (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、制気口からの気流の到達範囲が先ず問題となります。更に空間各部位の熱条件は均一ではないため、偏った対流によって局所的な環境の不均在起こります。また壁面で起こるコールドドラフトも問題で、それらの回避策が必要です。



流跡線分布 (色は温度)

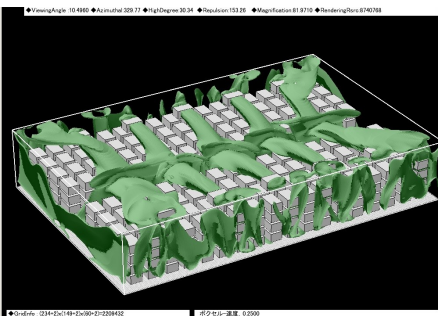


断面温度分布+速度ベクトル

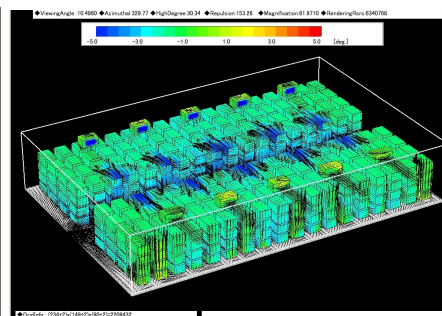
上の体育館の場合、アリーナ部の冷気供給は十分ですが、客席部では十分な空調がされていない事が分かるので風量増加など追加対策が必要になります。

◆冷蔵庫空調解析・非定常解析

低温保存の必要な製品を保存する冷凍庫・冷蔵庫等の解析は、収納する荷の状態確認が重要です。一般にこのような倉庫では気流や温度の性状はかなり不均一であり、保存環境が不備な施設が多く存在します。先ずは全体の温度分布、前室や壁面の結露・結氷状態の確認が必須です。



風速等値面 (Voxel) 表示 0.25m/s

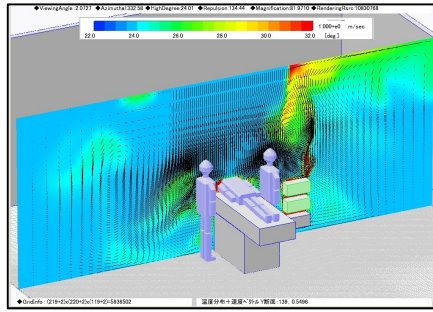


表面温度表示+速度ベクトル

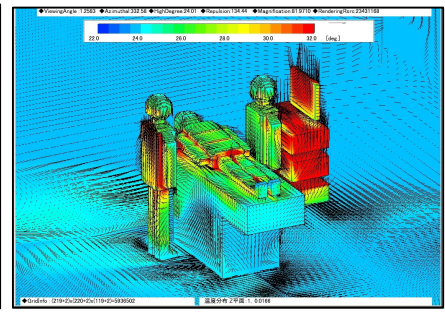
上の例の場合、対向した循環ファンを一定間隔で設置しても庫内の温度分布が均一になるとは限りません。吹き出し方法の改善などが必要になります。

◆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、発熱する機械や无影灯などの熱源がある中での気流性状の確認が必要です。各空間での換気効率や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

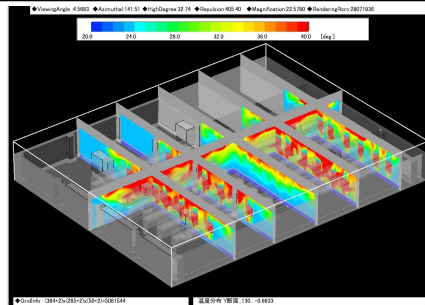


表面温度分布+速度ベクトル

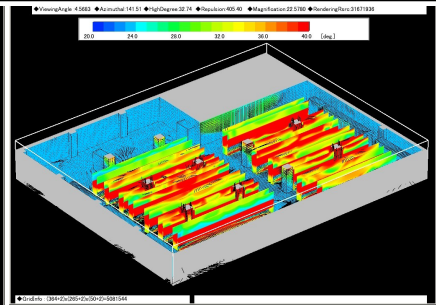
上部吹出しからの空調空気、術者及び患者周辺の快適性をまかなえるかが主眼であるが、発熱機械の影響などで局部的に上昇流・渦流が起きています。

◆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混在し、個別に十分な冷却がなければサーバーが過熱する危険が増大します。最近の高負荷サーバーや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、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

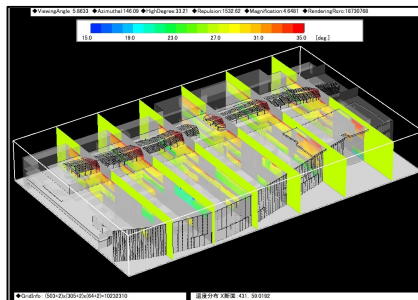


表面温度分布+速度ベクトル

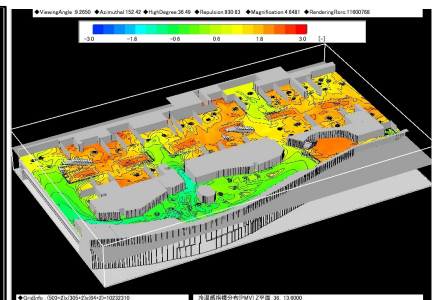
DC 空間内は換気回数が多いにも関わらず、気流・温度状態は不均一です。稼働状態に合わせてアイルキャッピングや局所空調などの対策が重要です。

◆ショッピングモール空調解析

最近の空調解析の特徴は、個々の空間だけを対象にするのではなく、建物全体を解析して上下階や吹抜けの影響など空間同士の関連を考慮した検討が必要です。本例以外でも、オフィスビル・駅舎・工場など、全体と局所の空調計画のバランスの検討が重要です。



断面温度分布

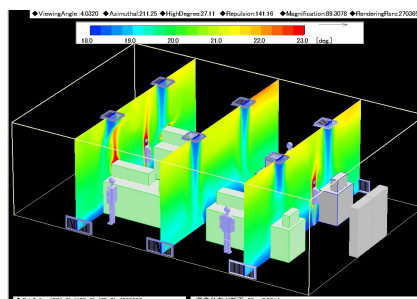


平面 PMV 分布 (2F)

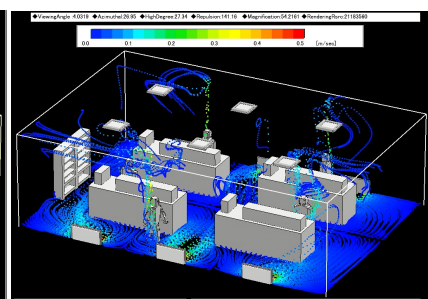
3階建て大型モールで各階テナントの快適性対策や、フードコート・吹抜けの気流状態のチェックが施設管理上も非常に重要です。

◆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年代から解析されていますが、清浄度に関係のある施設が多数あります。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するからです。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

FFU からの冷気供給に対して、機器発熱や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が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。

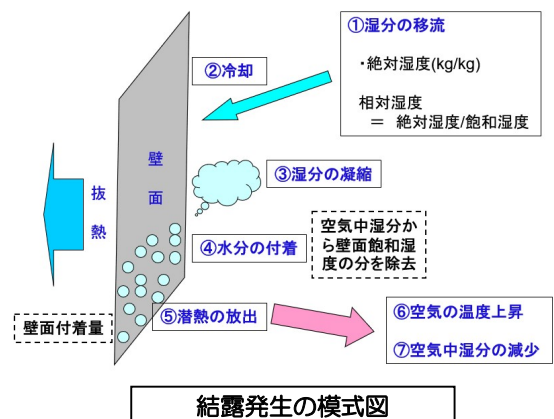
◆ 結露対策

結露の対策はいくつもあります。躯体を断熱化する事と、結露箇所乾燥空気をつける事、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。結露シミュレーションが最近非常に需要が多い理由です。

◆ 結露発生のメカニズム

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

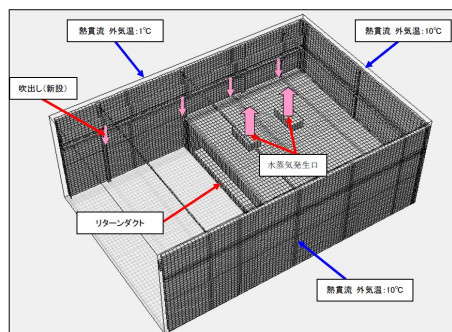
1. 予測の第一は、ガラス面・壁面が露点、つまり相対湿度 100% 上回る水蒸気圧になっているかを判定する事です。
2. 露点だけでの結露判定では不十分です。継続的に結露が起きるか否かの判定が重要になります。
 - ・当該部位に何℃の空気がどれだけの量供給されるか
 - ・冷却面は蒸発潜熱に見合った分空気を連続して冷却出来るかが重要になります。(右図参照)



◆ 食品工場の結露解析

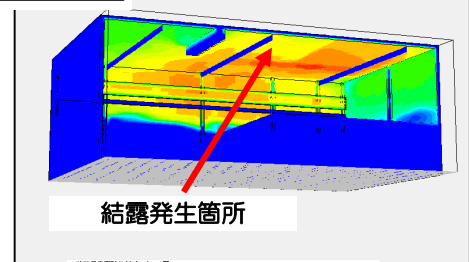
食品の製造工程は、水分を扱う加熱工程が多く水蒸気発生は頻繁なのが一般的です。その水蒸気が周囲の躯体表面などで凝縮し結露が発生します。その水分が製品に落ちれば、衛生管理上非常に深刻な事態に発展します。

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。



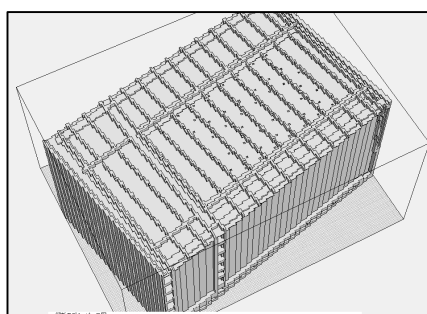
給排気条件

表面結露量分布

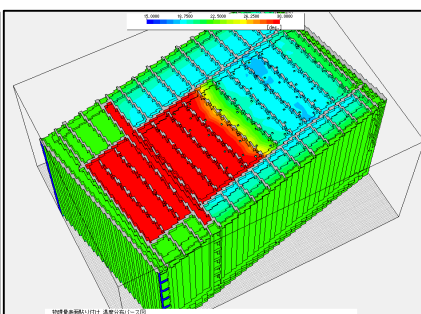


◆ BIM を用いた結露解析

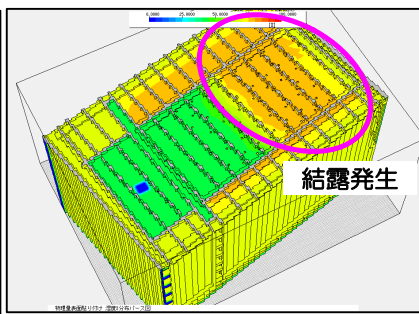
特殊な構造の某美術館を対象としました。展示室の屋根部はチャンバー構造になっており、そこから照明用の穴などを通して空調空気が展示室内に供給されるようになっています。そのためチャンバーのすぐ外側は外気で、チャンバー内の空気はその影響を直接受けます。BIM で提供された CAD データから簡単に解析モデルを作成出来ます。熱条件を付与し解析を行うと、相対湿度が大きく露点に近い部位を容易に見つける事が出来ます。



解析モデルパース図



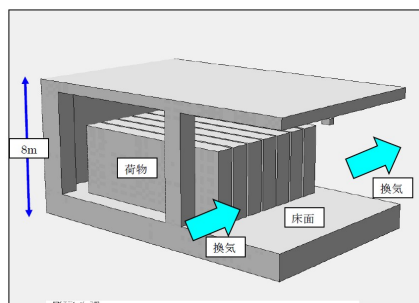
内部表面温度分布



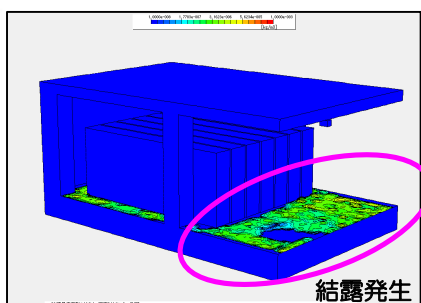
内部表面相対湿度分布

◆ 常温倉庫の結露解析

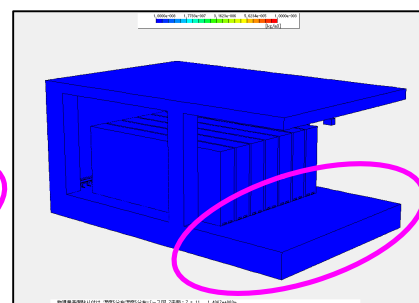
常温の倉庫でも結露が起こります。春や秋の雨などが降った日の翌日が気温が下がると、床に大規模な結露が発生する事があります。対策としては、床面を断熱化するか、乾燥空気をぶつけるかしかありません。フォークリフトが常に通る関係などで床の断熱化は難しく、循環ファンなどを設置して乾燥空気を当該部位に供給する対策が多く取られます。常温倉庫の結露は、山間部の湿度が高く夜間冷え込む場所でも見られる事があります。



解析モデルパース図



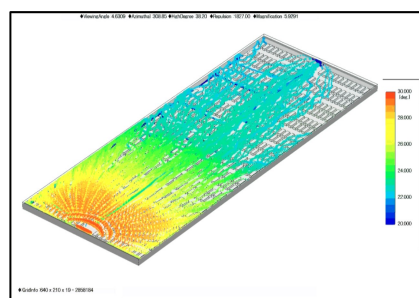
表面結露量分布（対策なし）



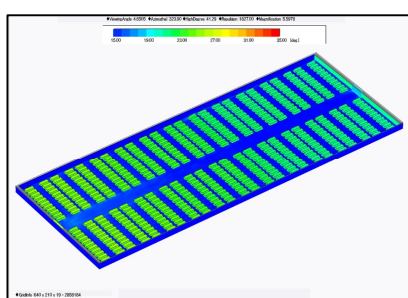
表面結露量分布（対策あり）

◆ 地下駐車場の結露解析

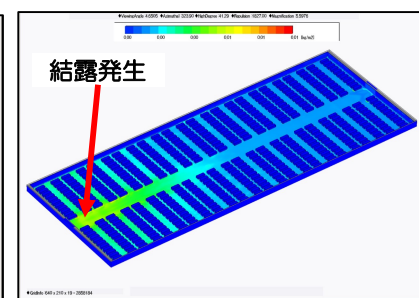
地下駐車場でも結露が見られます。しかし地下駐車場は人も少なく、結露を発生させるだけの湿分源が見られない事があります。結露の原因となる水分（水蒸気）はどこから来るのでしょうか？いろいろ調査してみると、湿分は車路から来る事が分かります。狭い車路を車が入って来る時、車のボリュームと同じくらいの体積の外気を、地下に持ち込んでいるのです。地下空間に入ってきた外気は温度が高いので天井に沿って広がります。この湿分の高い空気が壁面に沿って降りて来て、床面に滞留し結露を引き起こします。対策は循環ファンが有効です。



地下空間天井付近を移動する外気



表面温度分布



表面結露量分布

クローズアップ 自然換気シミュレーション

WindPerfect による自然換気シミュレーション

目的

高層ビルのボイド（吹き抜け）や工場建屋などの換気に近年自然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も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と言われます。 空間の規模を問わず、積極的に自然換気を利用する建築は、国内でも海外でも急激に増加しています。

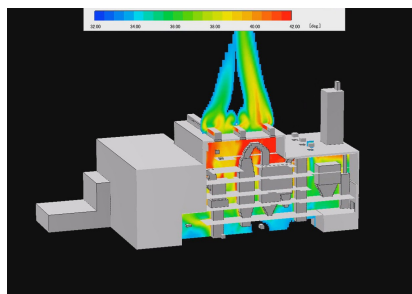
自然換気シミュレーションのポイント

自然換気の気流状況の再現は実は容易ではありません。 建物内の発熱による気流・温度分布を、原則無風状態で予測して密度差換気を評価するのが自然換気解析です。 これには空間内部の温度成層状態の再現とともに、各開口の換気風量や中性帯位置の予測も伴います。 発熱部位から吹き抜け・開口を経由する3次元形状の再現は重要で、そうでないと流動抵抗はきちんと出て来ず風量予測も無駄になります。 自然換気はうまく設計・運用すれば機械換気よりも大きな換気風量が得られますし、適正で均一な気流を作れます。 エコで人に優しい換気と言われる所以です。 空調や有風換気との組み合わせを検討する事で、更に様々な建築のバリエーションを実現できます。

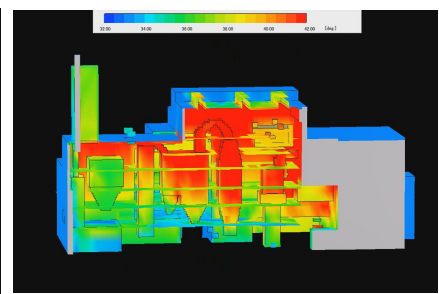
自然換気シミュレーションの実際

◆某清掃工場自然換気解析：

清掃工場は、多数の吹き出し口設定、炉体など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ガラリやモニターなどのサイズ・配置などを検討する事で、より効果的な暑熱環境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

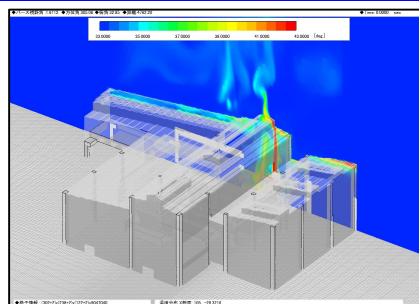


表面温度分布

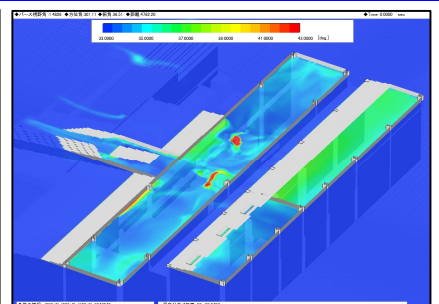
空間全体の温度分布を元に換気モニターの位置・大きさや局所空調を検討。ボイラー周辺や点検歩廊周辺の熱環境が大きく改善された。

◆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。 建家上部に生成する熱だまりを効果的に排気して作業場の熱環境を緩和する設計が重要です。 機器からの輻射熱を遮断する方策も必要です。



断面温度分布

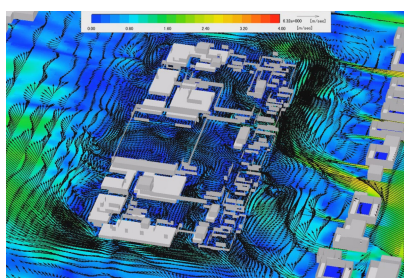


平面温度分布

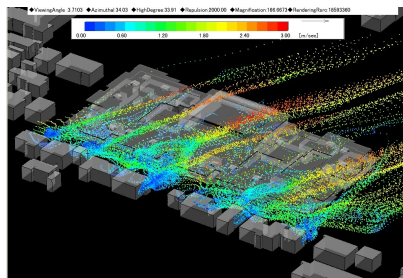
作業環境の過熱の改善が主眼。トップライト付近のガラリ・モニター開口の増設や外気の導入を工夫するなどを実施して暑熱環境を改善した。

◆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で屋根上にウインドコレクターと呼ぶ集風装置を設けて室内に呼び込み、快適な環境を実現しました。本件は 2013 年度日本建築家協会賞を受賞しました。



平面風速分布

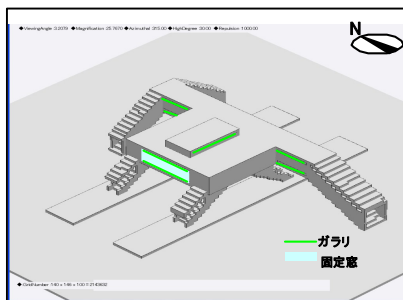


流跡線分布

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。

◆橋上駅舎自然換気解析

橋上駅舎は最もポピュラーな駅建築ですが、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。自由通路から改札口・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。



解析モデル図

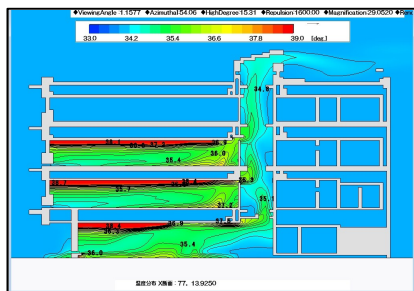


平面温度分布

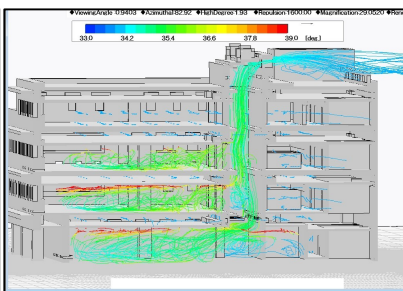
開口を取れる位置は限定されているが、なるべく機械動力を利用せずに熱排気が滞留せず、均一な温度場が得られるように部材などを選定。

◆某オフィスビルボイド換気解析

給排気ガラリ、トップライト開口、欄間などを含む建物内の3次元形状に合わせて、吹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。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こともできます。



断面温度分布

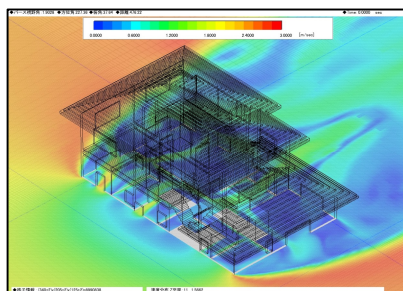


ボイド内流跡線分布

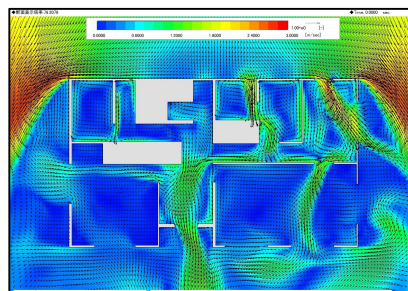
吹き抜け空間のある建物内全体の自然換気を評価。低層・中層部の換気口から入った外気をトップライトから効果的に排気。

◆住戸通風シミュレーション

通風解析と自然換気解析は全く違うものです。等温の通風解析より、有風の自然換気解析の方がより実際に近いと言う現実があります。先ずは無風での換気性状を求め、必要な所だけ有風での対策を施すのが有効です。開口からの外気侵入量の評価にも注意しましょう。



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 一般熱流体シミュレーション



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安定した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。

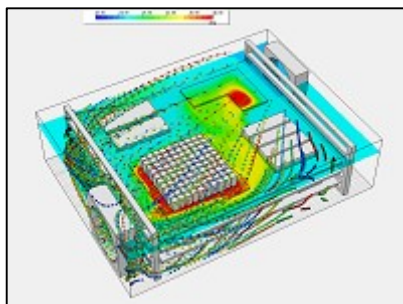
一般熱流体解析のポイント：

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、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。

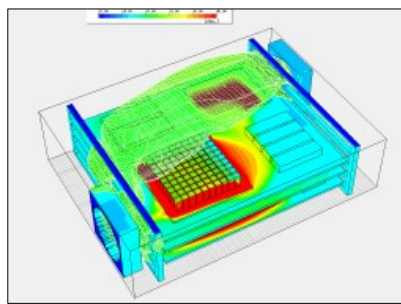
一般熱流体シミュレーションの実例

電子基盤熱解析：

通電される電子部品は本来発熱性であり、その冷却状況は機器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運用されます。それらの適切な熱対策は、製品の低コスト化と長寿命化に欠かす事のできない技術になりつつあります。



断面温度分布＋流跡線

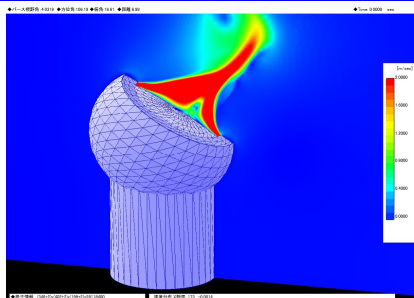


表面温度分布

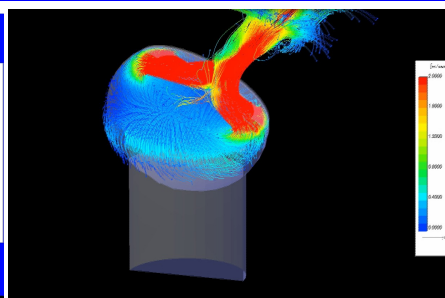
発熱の大きい素子に対してファンで取り入れた気流がヒートシンクを冷却している様子が分かる。各素子間の熱の影響も検討可能である。

新型空気清浄機：

シンプルな形状で高効率の空気清浄機が気流を起こす過程を 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。



断面風速分布

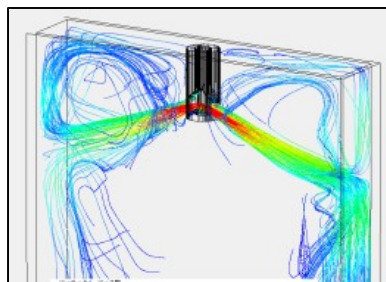


パーティクル表示（風速）

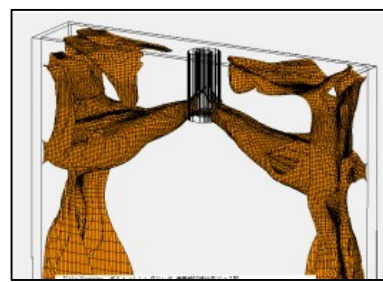
空気は円筒の上に置かれた丸いヘッドの上下から噴出し、中央部で合流して前方へと流れの向きを変える。上下の流量比で飛び方向が決まる。

連続鋳造機流動解析

鉄鋼や銅の製造プロセスで、溶融金属を連続的に固める連続鋳造がある。凝固過程は非常に重要で、鋳塊の偏析や表面での介在物のトラップは製品のトラブルに直結する。流動状況を最適化し、鋳造効率・稼働率の上昇のため解析を要する。



流跡線（色は流速）

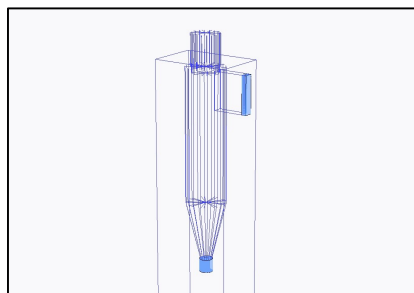


等流速面

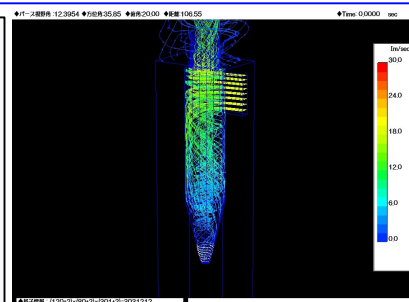
浸漬ノズルから溶融金属の噴流は、直進して短辺サイドに衝突する。上下に分かれた流れはそれぞれ渦流を形成し、下方へ介在物を巻き込む。

サイクロン流動解析：

製品の分離・収集に旋回流を用いるプロセスは多い。その代表格がサイクロンで、素材製造工程などで頻繁に利用される。物質によってどのような旋回による分離工程を設けるかが重要であり、熱的処理が妥当であるかの検討もCFDの役割である。



解析モデル

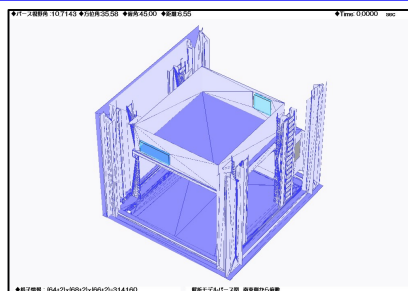


流跡線（色は流速）

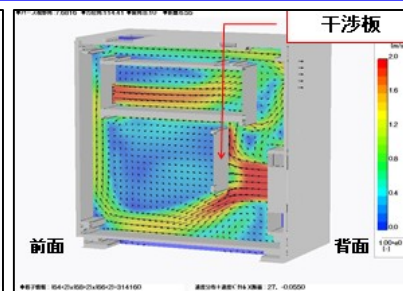
上部から吹き抜け下部から流出する様子が分かる。粒子径が大きい場合は粒子は沈降しやすく、装置下部に滞留する様子が見てとれる。

デザインデスク熱流動解析

オフィスオートメーションの深化により電子機器の熱発生をともなう仕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

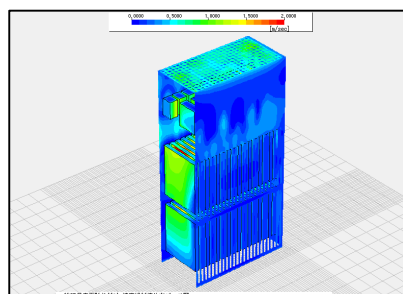


断面流速分布

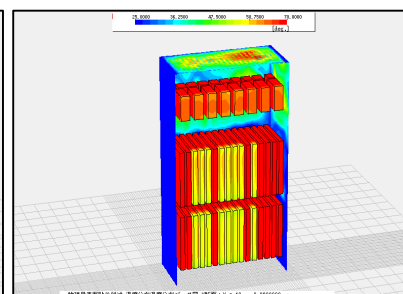
デスク内を CAD データで正確に再現し、内部の発熱機器・ファンや開口の配置を検討した。一部の機器より全体の効率化が主眼。

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。



サーバー内表面風速分布



サーバー内表面温度分布

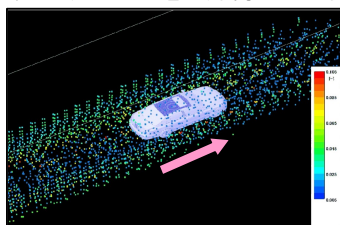
ラック内に機器が配置された状態を再現。機器の耐用温度が限られているため、必要に応じて開口を大きくしたり増やす必要があります。

クローズアップ 移動物体解析

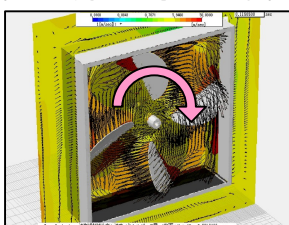
e-flow は移動物体解析機能を皆様に提供しています。動く物の周りで、空気あるいは水などの動きはどのようなになっているのでしょうか？ 熱との関係や拡散なども解明出来るのでしょうか。想像を越える驚きの世界によこそ。

◆e-flowDX の移動物体解析機能

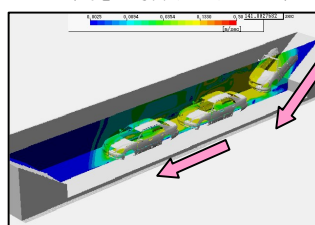
通常の CFD では動く物体の周囲の流れを計算出来ませんが、e-flow は特殊な解法により様々な問題を解くことが出来ます。物体の動きは基本的に平行移動と回転で表現しますが、どの時間にどのような動きを与えるかを自由に指定できるので、どんな複雑な動きを与えることも可能です。また、多数の物体を同時に動かすことも出来るので、人体や機械の動きを正確に再現できます。百聞は一見に如かず。その華麗な解析結果をご紹介します。



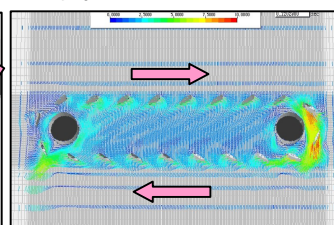
トンネル内を走行する車両
(平行運動)



枠の中を旋回するファン
(回転運動：何回転でも可)



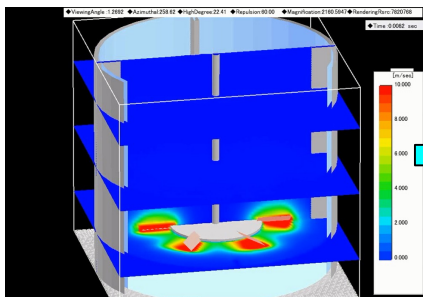
電着塗装槽内のボディ
(平行移動と回転：複数物体)



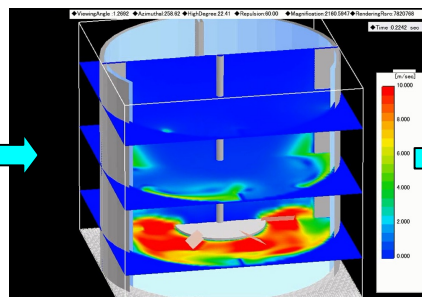
二重反転翼列を通過する水流
(平行移動と回転：局所回転：20 物体)

◆攪拌槽問題

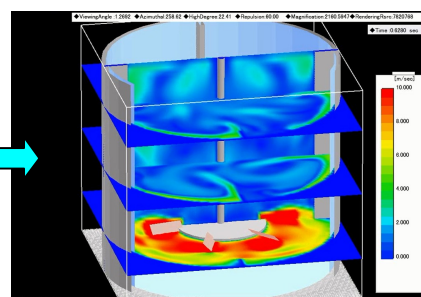
攪拌槽解析は物質の製造工程で極めて重要ですが、その流動特性は十分解明されていませんでした。攪拌翼の大きさや形状、槽や邪魔板との位置関係など、今まで分からなかった知見が、あたかも実物を扱っているかのように解明できます。



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

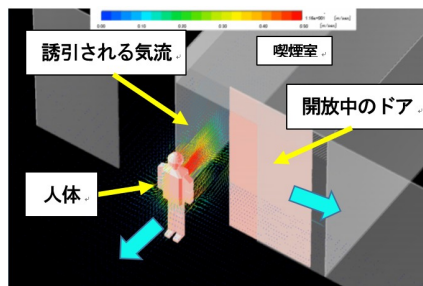


回転流で槽内壁に設けた邪魔板に沿って上昇流が生じ、全体の流動が始まる

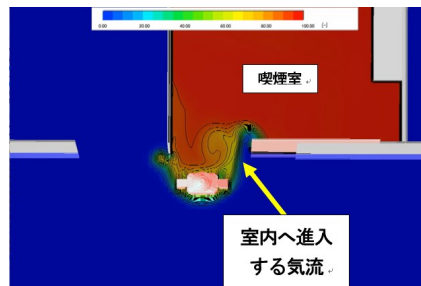
◆喫煙室移流拡散問題

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。

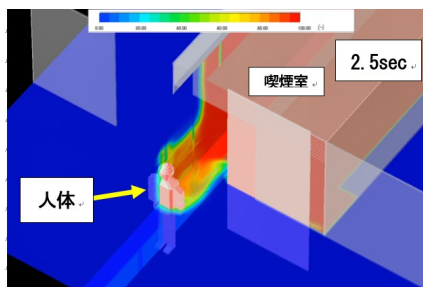
本例ではスライド式ドアを持つ喫煙室を想定してモデル化し、扉の開閉速度や人体の移動速度などを実際に合わせて設定しました。喫煙室から出てくる人が多量の汚染物質を室外に誘引する様子が、分かりやすく表現されています。人体が外に出ると同時にそのボリュームだけ外の空気が室内に取り込まれる様子も分かります。



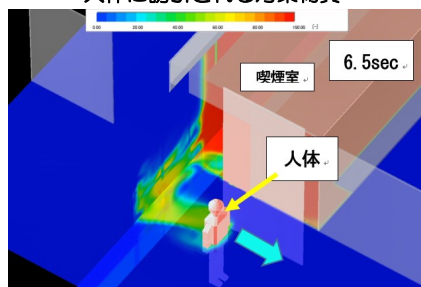
喫煙室 解析モデル



人体に誘引される汚染物質



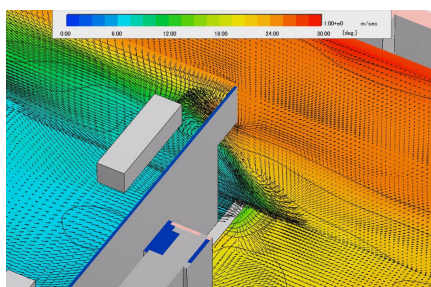
人体周辺の濃度分布（2.5 秒）



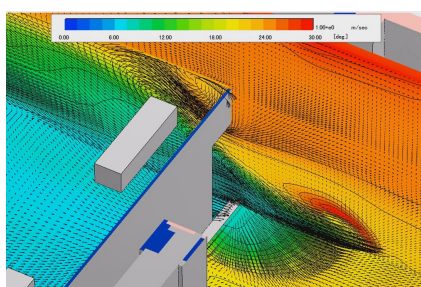
人体周辺の濃度分布（6.5 秒）

●扉開閉に関する問題

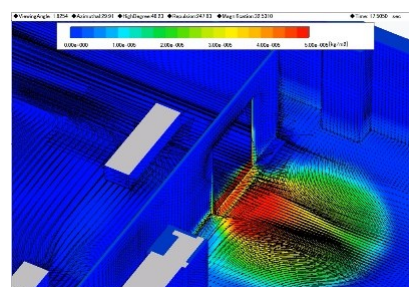
室内外に温度差がある場合、扉が空くと寒冷前線のように内部の冷気が室外に突出します。冷気は床近傍の躯体を冷却します。もし外気の湿度が多かったりすると、その湿分が冷却部に凝縮し結露が発生します。これは冷凍倉庫や冷蔵庫では日常茶飯事に起きている事で、冷却部の保温や断熱化など少なからぬ対策費用が発生します、



扉周辺の温度分布（3秒）



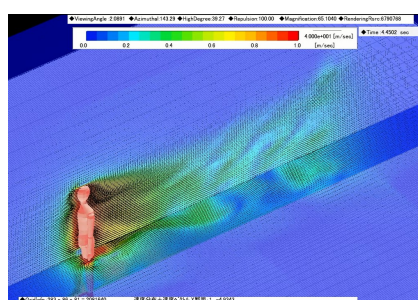
扉周辺の温度分布（10秒）



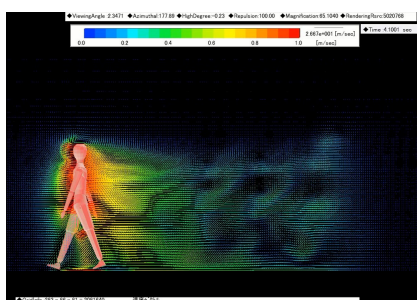
扉周辺床部の結露状況（10秒）

●人体歩行シミュレーション

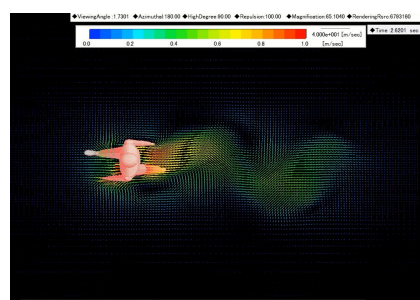
人や機械が空間を移動する際、周辺に大きな気流を起こします。クリーンルーム等であった場合、その気流は空間性能に悪影響を及ぼします。物が動く事による環境リスクの軽減をシミュレーションにて検討する必要があります。



歩行時に人体周辺に起こる気流



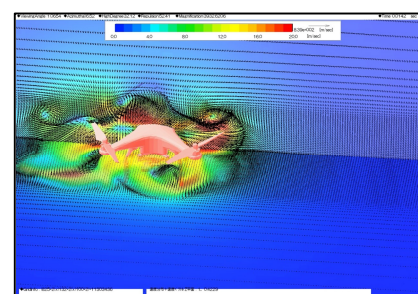
人体周辺の垂直風速分布



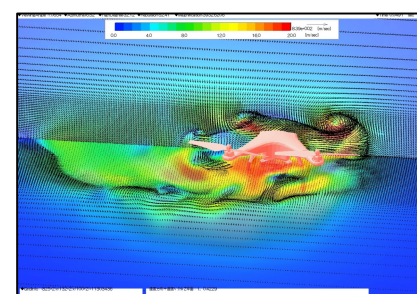
人体周辺の平面風速分布

●ドローンなど飛翔体の飛行

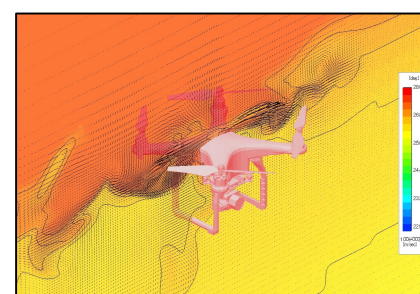
ドローン（UAV）もその周辺の気流がよく解明されていません。特に揚力を得るために大きなダウンウォッシュ（下降流）が発生してドローン周辺の気流を大きく乱します。特に閉空間の場合は作業環境を乱す事があります。



ドローン周辺の気流（0.014 秒）



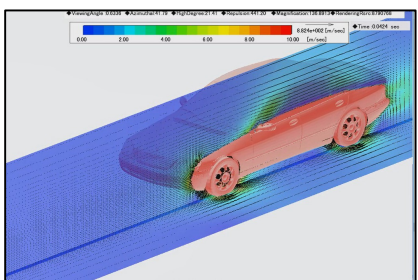
ドローン周辺の気流（0.049 秒）



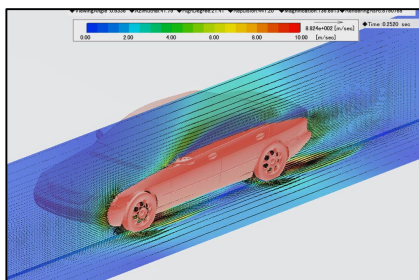
熱だまりに中を飛翔するドローン

●タイヤが回転しながら走行する自動車

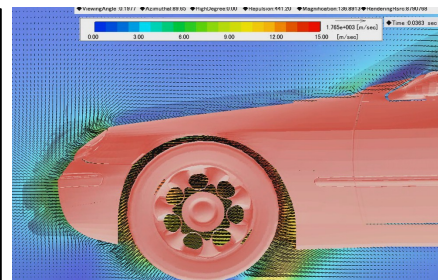
自動車の空気力学は既にポピュラーになっていますが、難しい問題はまだまだあります。ホイールハウス内でタイヤが回転した際のアンダーエフェクトへの影響等はまだまだ十分解明されていないようです。ここでも移動物体解析が有効です。



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