PDF Compressor Pro

気流解析のフィードバックによる空間計画手法の研究

Space planning method using feedback from aerodynamic analysis

政策・メディア研究科 修士 2 年

清水将矢

PDF Compressor Pro

背景

　一昨年の東日本大震災後、エネルギー事情が激変した中で、自然通風や日射を利用するパッシブ建築設計への関心が改めて高まっている。

　自然エネルギーを利用するパッシブ建築設計手法は、先人がその土地の風土や気候の特性を捉えながら、経験や知恵、勘を頼りに行い、培ってきた建築設計手法の一つである。

　一方、近年では物理的な自然現象と建築の関係が、BIM やシミュレーション技術の発展によって、簡単にスピーディーに低コストで可視化できるようになってきた。

　つまり、そうしたシミュレーションをデザイナーが設計プロセスにおいて直接扱えるようになってきたといえる。

PDF Compressor Pro

初期研究目的

本論文では、そうしたシミュレーション技術の中で、
扱うことが難しい自然現象の一つである風・気流に特化して注目した。

「建築設計スタディのプロセスにおいて、
気流解析手法がどのように扱われるべきかを明らかにする。」

PDF Compressor Pro

意義

そこでしか体験できないと思われてきた快適な気流体験を、
気流解析によって事前に狙いすまして設計できるようになる。

新たな建築の価値観が生まれると共に、
人間にとってより快適な建築が増えていくことにつながる。

PDF Compressor Pro

既往研究

気流解析を用いて行う研究には環境系論文の部類に多く存在するが、
多くが環境性能などを工学的に扱う論文であり建築計画に関するものが少ない。

以下 2 つの通風と快適性に関する論文を参考にするに留め、
デザイン実例における気流解析の実践によって
気流解析を建築計画に活用する際の問題点を抽出しようと試みた。

久野 覚「住宅における夏の通風と冬の日照の効果に関する実験室実験」2011

高 娟淑「住宅における夏季の通風と冬季の日射が室内温熱環境評価に及ぼす影響」2009

PDF Compressor Pro

気流解析実践による問題発見と仮説立案

① Build Live Chiba 建築設計コンペ

気流解析を用いた設計実践

② ユニテ・ダビタシオンによる気流解析実験

建具による室内 通風環境 操作実験

PDF Compressor Pro

Build Live Chiba

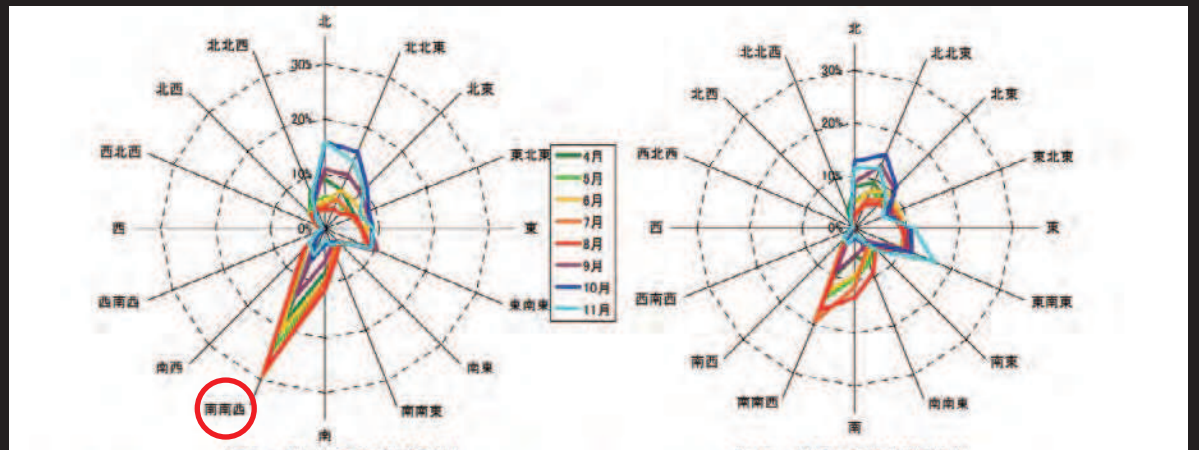


図4a 月別風配図(起居時)　　図4b 月別風配図(就寝時)

月毎気象データ数表

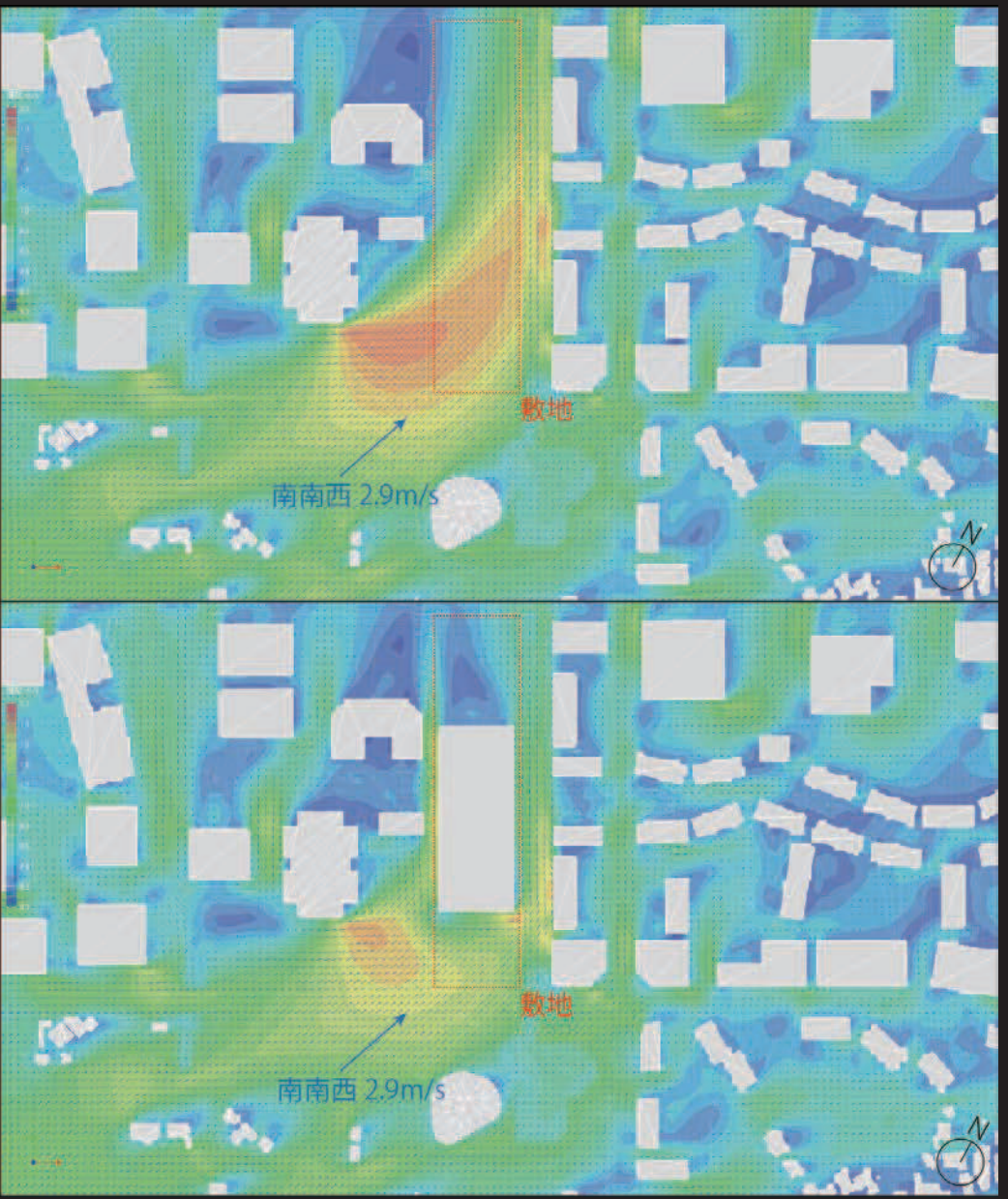
		4月		5月		6月		7月		8月		9月		10月		11月	
		起居時	就寝時	起居時	就寝時	起居時	就寝時	起居時	就寝時	起居時	就寝時	起居時	就寝時	起居時	就寝時	起居時	就寝時
平均気温[℃]		14.9	11.2	19.2	15.6	21.9	18.8	25.6	22.5	27.7	24.2	23.8	21.1	18.4	15.5	13.4	10.3
平均相対湿度[%]		63	78	67	83	75	88	76	89	73	89	75	87	70	81	64	75
平均風速[m/s]		3.3	2.3	3.2	2.2	2.8	2.0	3.0	2.1	3.0	2.1	2.8	2.1	2.6	1.9	2.5	1.9
風向	最頻	南南西 18%	東南東 11%	南南西 24%	南南西 15%	南南西 20%	南南西 13%	南南西 29%	南南西 19%	南南西 28%	南南西 17%	南南西 13%	北北東 13%	北 16%	北北東 15%	北 16%	東南東 16%
	次点	北 9%	東 10%	南 10%	東 10%	南 9%	東南東 11%	南 10%	南 11%	南 11%	南 13%	北 11%	東南東 11%	北北東 15%	北 13%	北北東 13%	北北東 12%
	次々点	東南東 8%	南南西 10%	東南東 8%	東 10%	東南東 8%	東 10%	東南東 8%	東南東 10%	東南東 9%	東南東 11%	北北東 11%	北東 11%	北東 11%	東南東 12%	北東 10%	北 11%

木更津の再開発エリアに、創造的なビジネスを展開するのに相応しく、
高い創造性を発揮できるような多様な空間をもった業務施設群を計画する。

アメダスデータから、夏季に発生頻度の最も高い風向 (南南西 2.9m/s) を設定。

PDF Compressor Pro

敷地気流解析

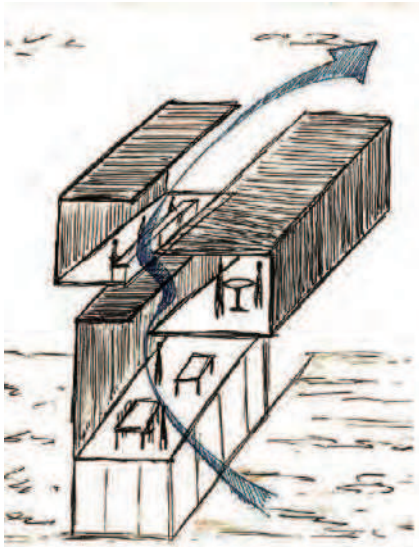


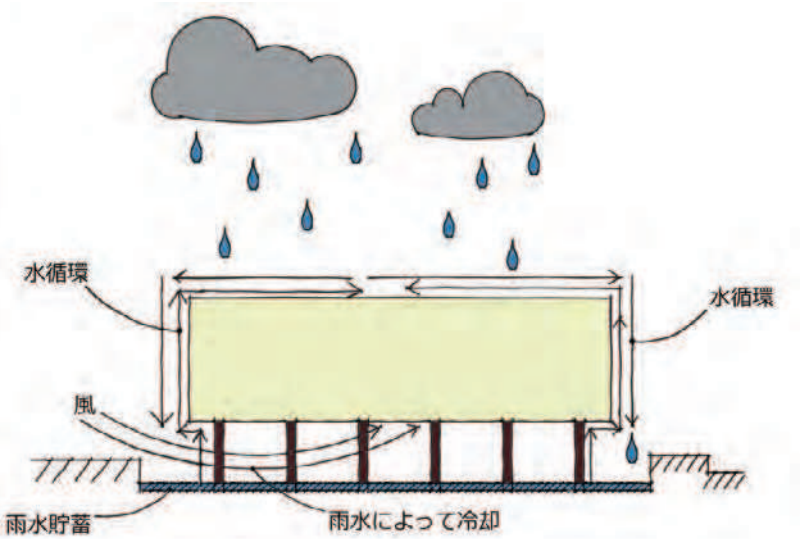
縦 800m× 横 800m× 高さ 60m の周辺敷地
を 2m 立法にメッシュ分割して解析。

夏季における最頻風向である
南南西の風を取り込みやすい環境
であることが分かった。

PDF Compressor Pro

3 つのコンセプト

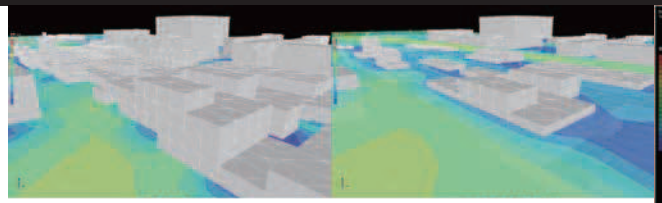




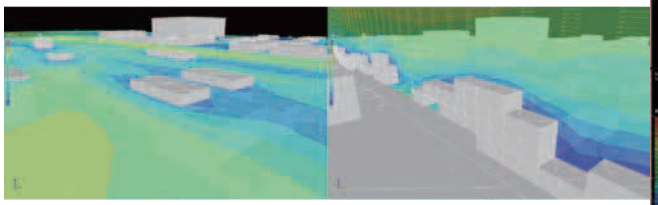
1. ポーラスで多様な空間構成
2. ウィンドキャッチャー
3. 水による冷却効果

PDF Compressor Pro

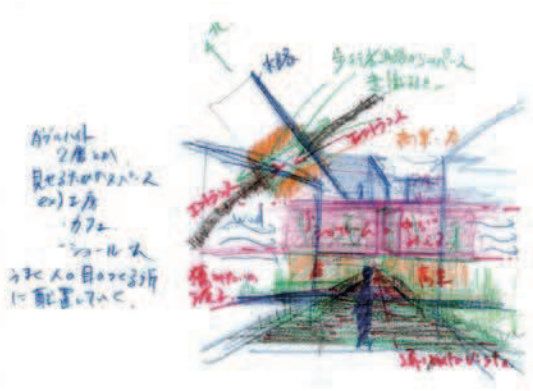
設計過程

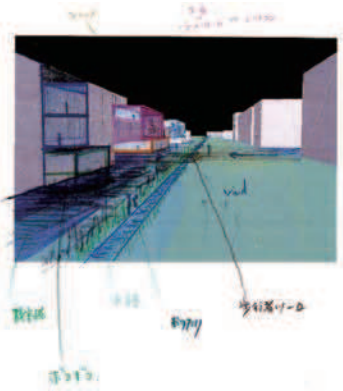


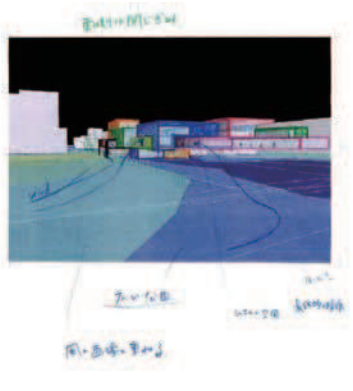
+500mm　　+3500mm

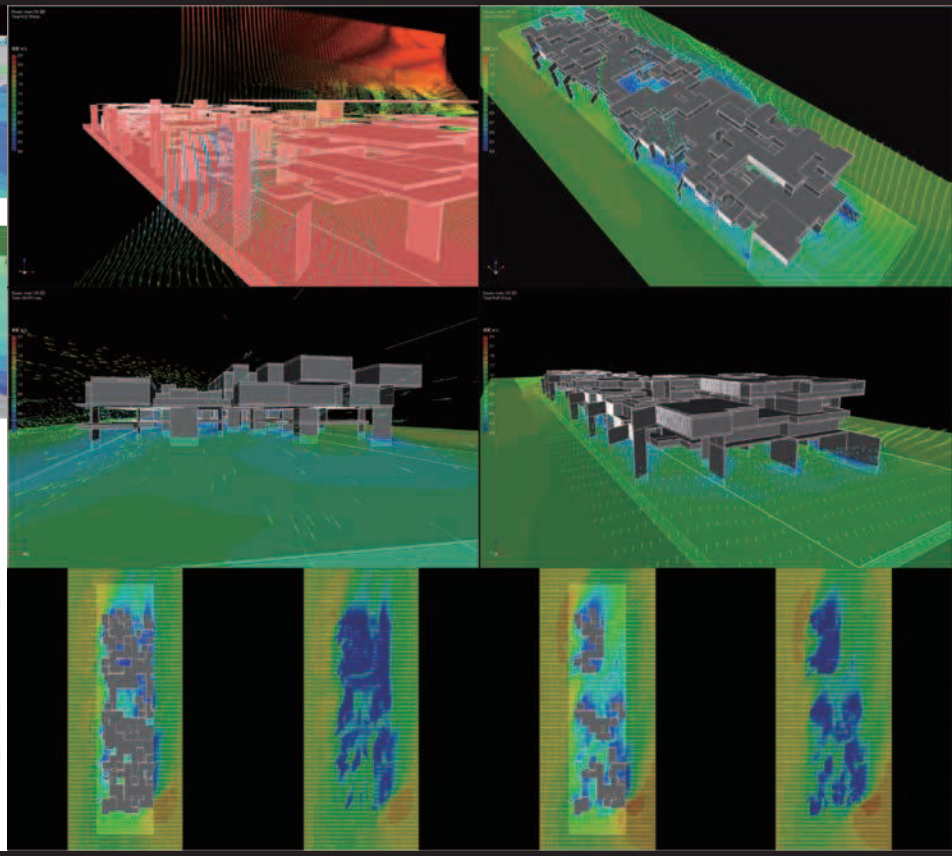


+6500mm　　立面



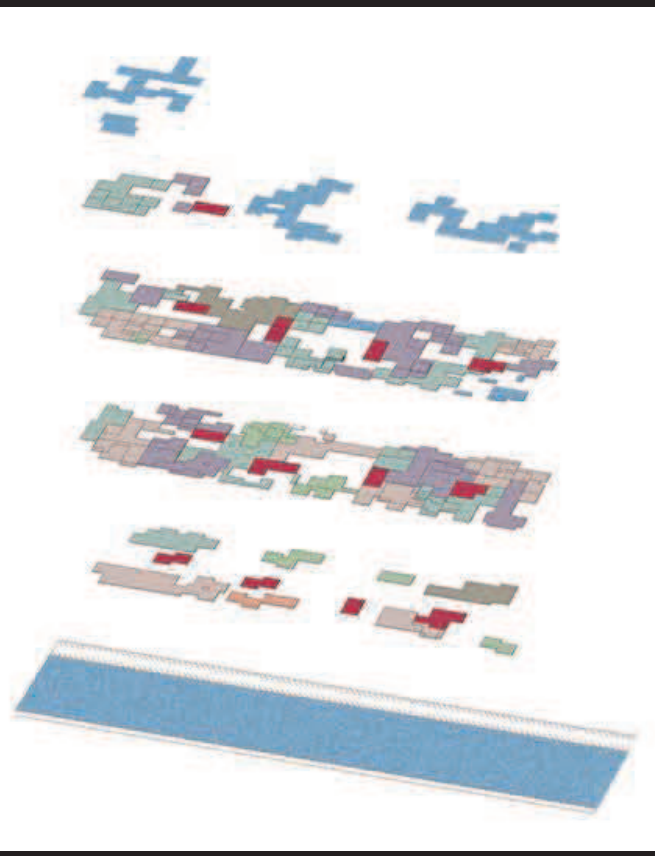






PDF Compressor Pro

完成



PDF Compressor Pro

4つの問題抽出

①「広域モデルを用いた気流解析の非効率性」

広範囲なモデルを用いることは、解析に時間がかかりすぎる上にデータ量も増えるので、個人用のコンピューターで扱うには限界があり、非効率的である。

②「他の設計条件との両立性」

通風性能の最適化を目指すと他の設計条件との両立が難しいこと。

③「組合せ爆発問題」

通風性能を改善する為に操作しなくてはいけない要素の組み合わせが無限にある。

④「要因発見の困難性」

結果が出てから何かを発見しようという解析任せの方法では何も得られないこと。

PDF Compressor Pro

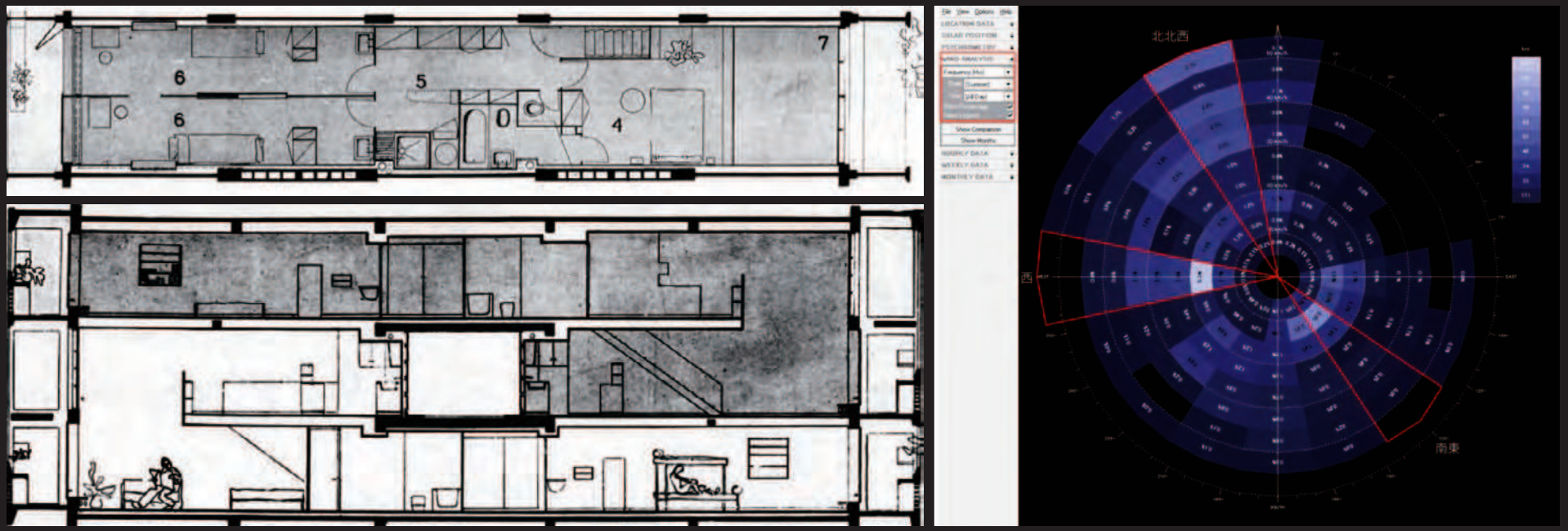
ユニテ・ダビタシオン

ル・コルビュジェの設計

夏の快適な室内での実体験を気流解析によって確かめたい。

PDF Compressor Pro

ユニテ・ダビタシオン

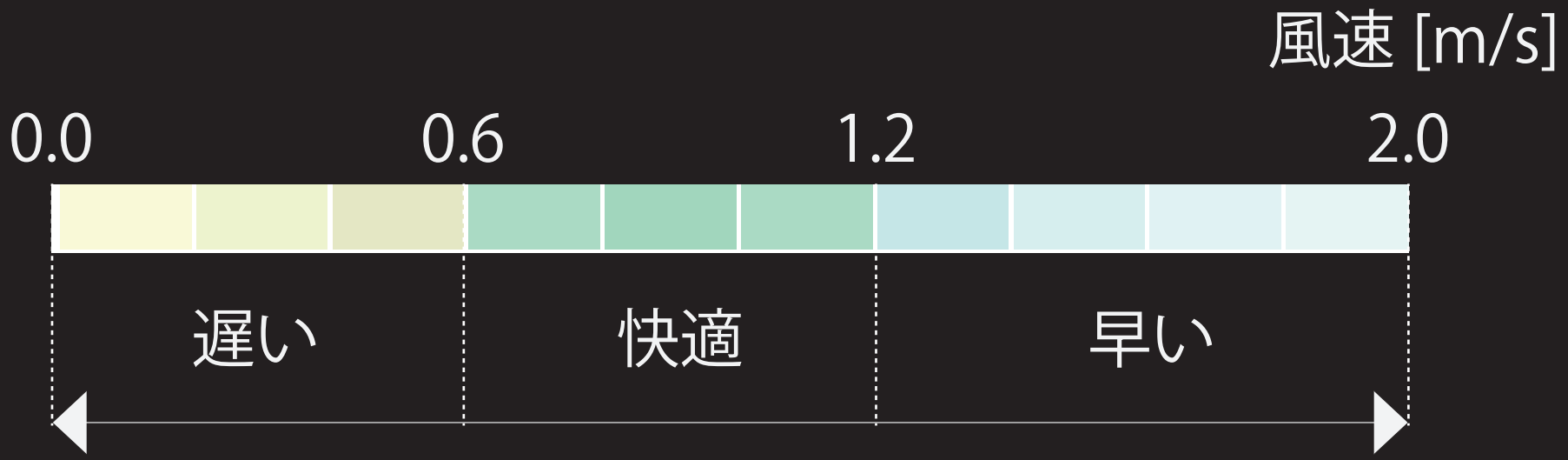


建築形態やプランニングは完成された状態で固定し、室内の建具のみの操作で、
どこまで気流を操作改善できるかを確認する実験を行った。

発生頻度の高い 3 風向 (西 6.1m/s)(北北西 8.3m/s)(南東 4.0m/s) を設定。

PDF Compressor Pro

ユニテ・ダビタシオン

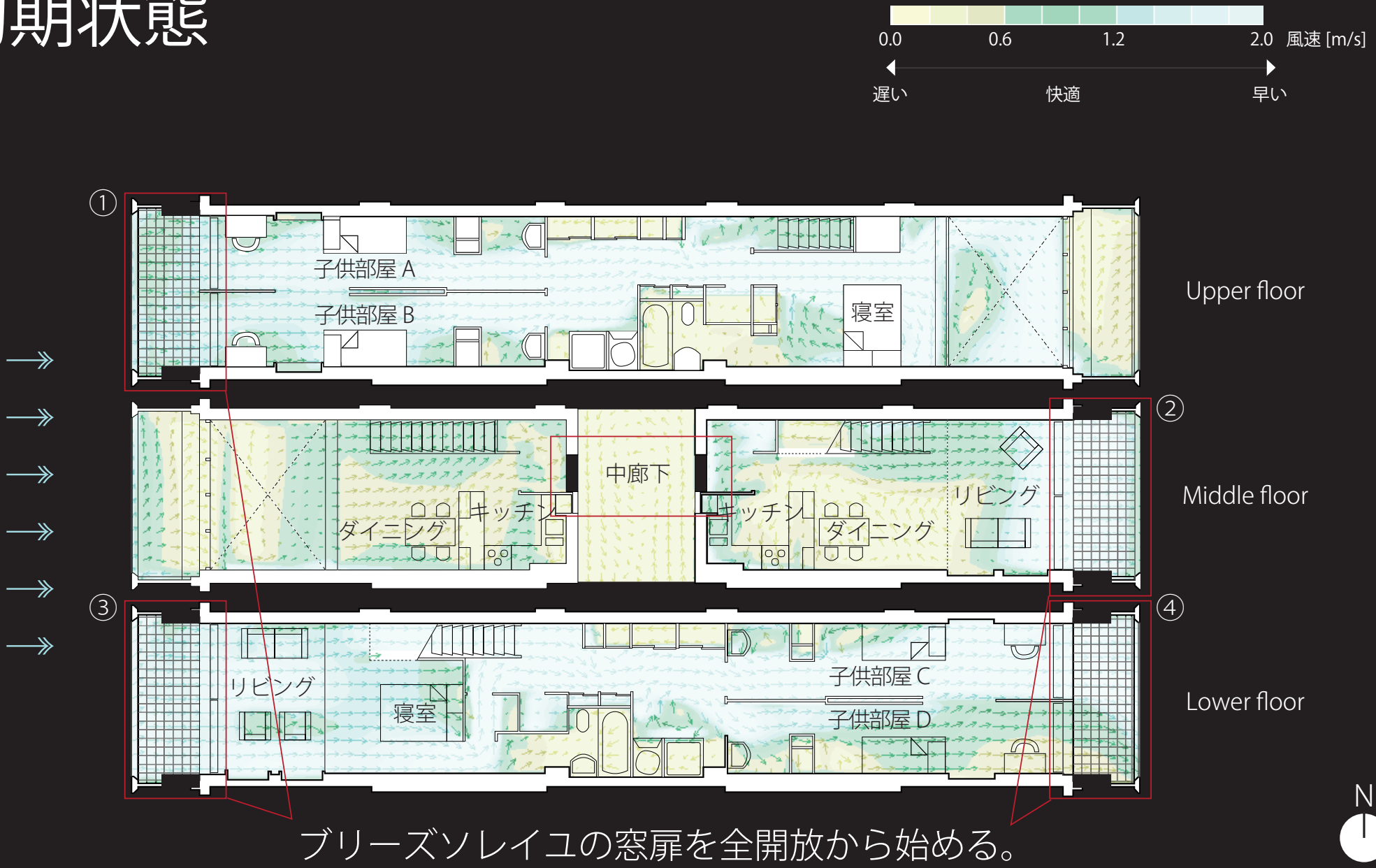


・夏季 (8 月自然通風時) における快適感では、室内気温が 30.1℃~32.7℃と高い時でも風速が 0.6m/s 以上になると不快にならないことが分かった。

・32℃実験で 0.7m/s 以上、34℃実験で 0.9m/s 以上という値が得られた。

PDF Compressor Pro

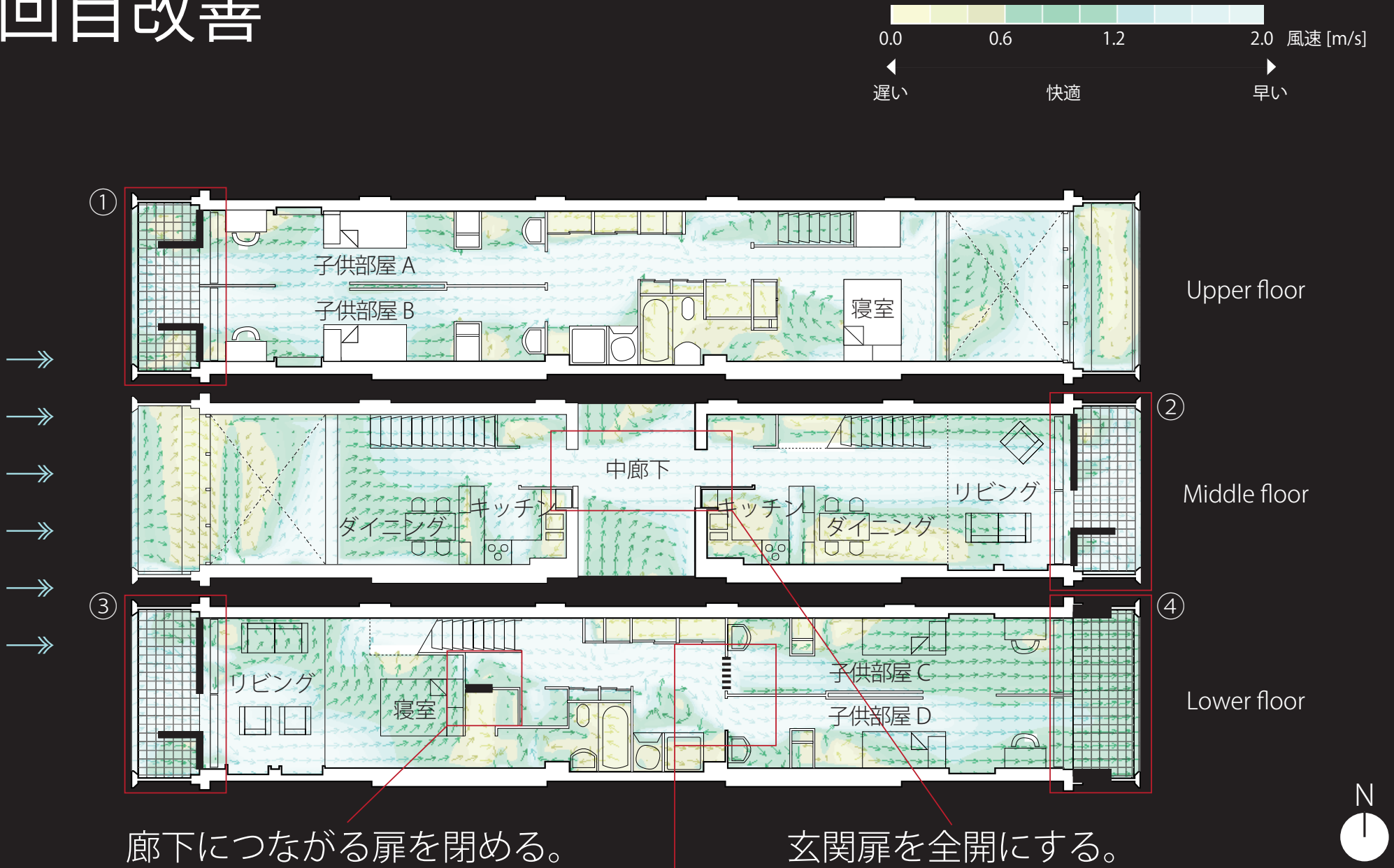
初期状態



ブリーズソレイユの窓扉を全開放から始める。

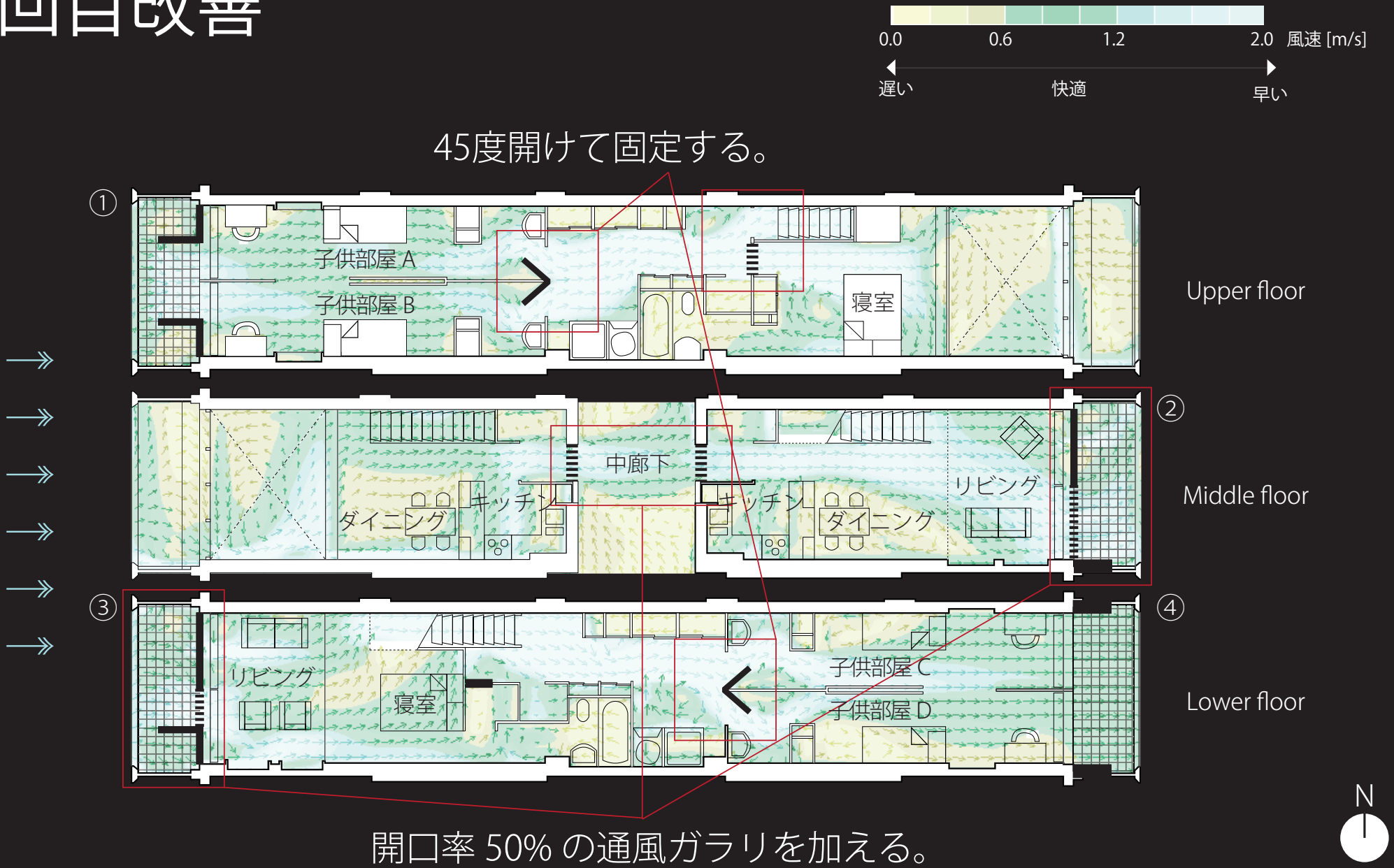
PDF Compressor Pro

1回目改善



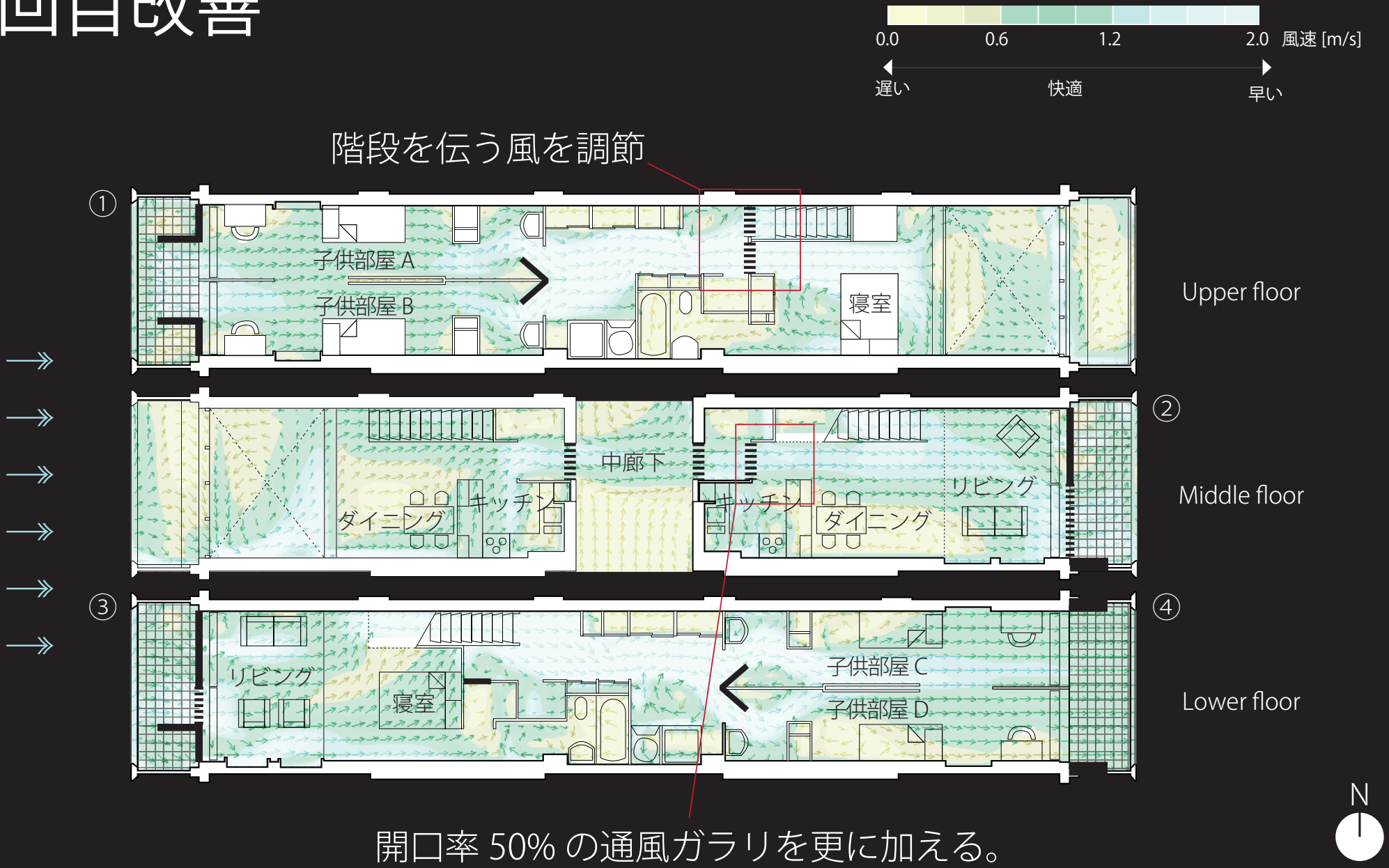
PDF Compressor Pro

2 回目改善



PDF Compressor Pro

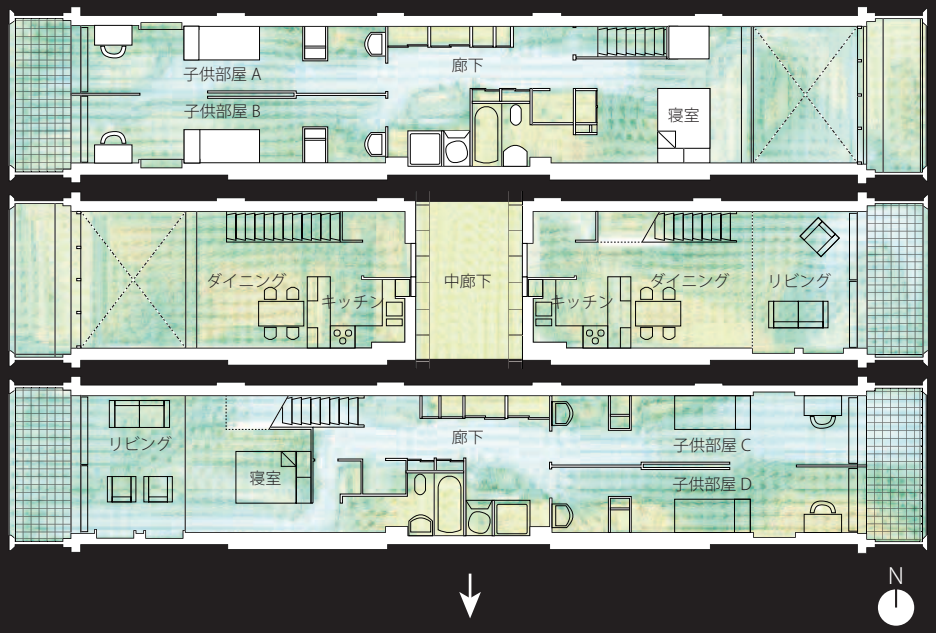
3 回目改善



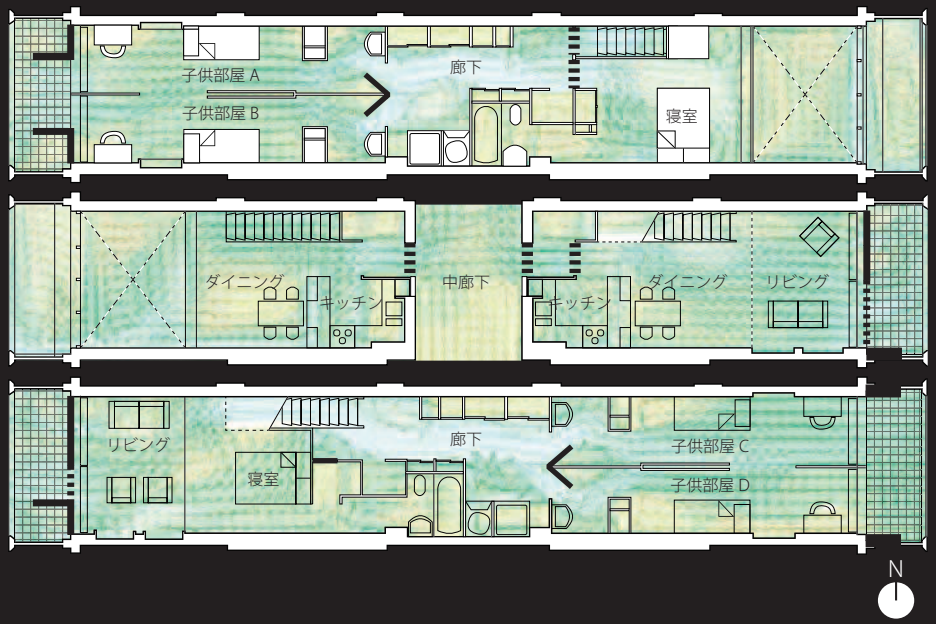
PDF Compressor Pro

結論・考察

初期案 (西・北北西・南東の気流の流れを重ねた解析結果)



改善案 (西・北北西・南東の気流の流れを重ねた解析結果)



3 風向いずれの風が吹いても、以下の建具の操作によって、室内全体に快適風速域が広がった。

↓

室内に通風環境のベースを確保できていれば、建具の操作で風量や風速は微調整できる。

風を活かすためには、あらかじめ風の通り道を確保しておくことが重要であるということが明らかとなった。

PDF Compressor Pro

気流解析フィードバック手法の分類

Build Live Chiba
ユニテ・ダビタシオン

仮説

PDF Compressor Pro

現象確認型の定義

現象確認型

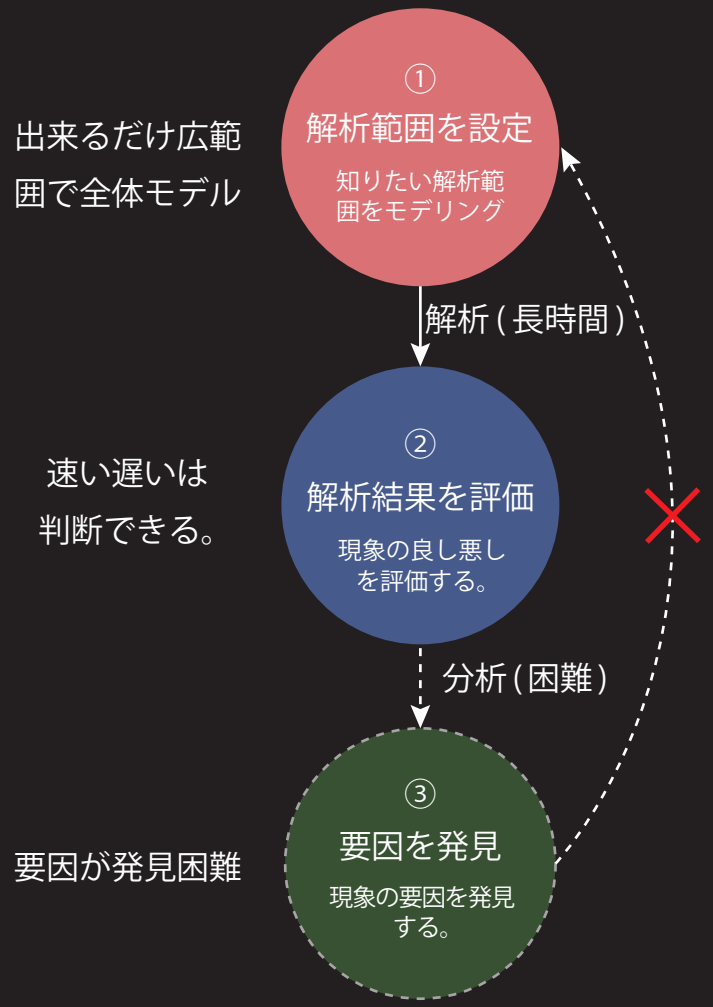
広範囲を含めた全体モデルでの解析を行う。

・より広範囲の周辺敷地を含み、全体モデルを用いて精度高く、より現実に近い気流環境を知ることが理想。
・とりあえず、どんな気流環境になのか確かめたい。
ex) 配置計画　設計後期の気流確認

特徴
・一回の解析時間が長く、理想を求める程それは延びる。
・高スペックなコンピューターが必要。
・気流現象の要因を知ることは困難。

設計
・トップダウン式設計型

現象確認型気流解析手法



広範囲な為、解析時間が長い。1サイクルに時間がかかる上に、的確なフィードバックが困難。

PDF Compressor Pro

問題発見型の定義

問題発見型

限定した範囲での部分モデルの解析を行う。

・風の現象と形態の関係を知りたい。
・どこの気流環境を知りたいのか、どこを解決したいかなどの目的を明確にして解析を行う。

ex) 初期スタディ

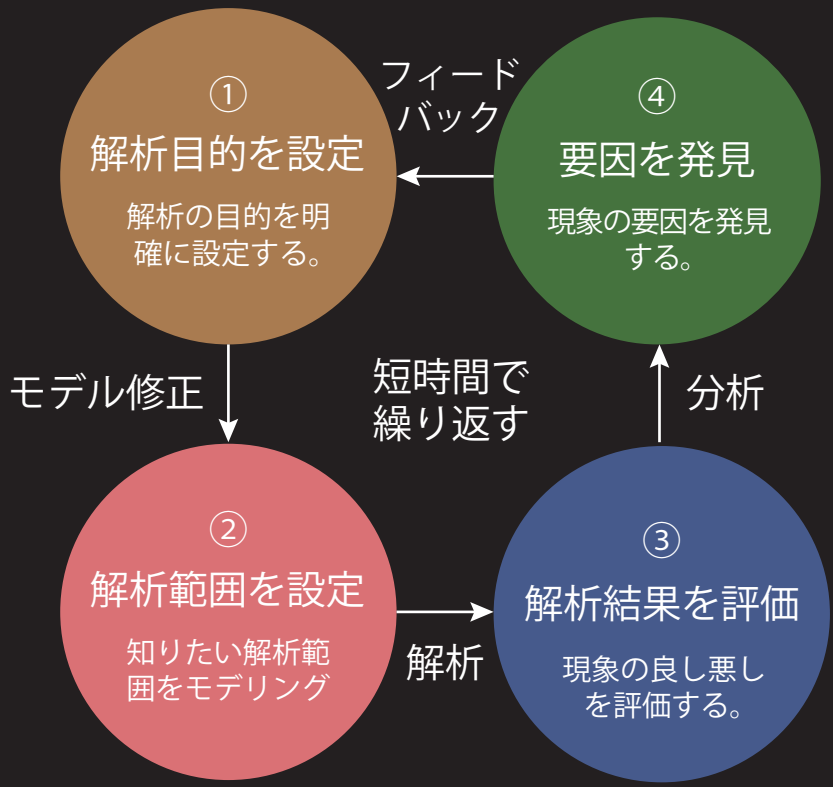
特徴

・一回の解析時間は短い。
・よって大量の結果を比較する事が出来る。
・目的が明確な事と、範囲が限定されている事からも、気流現象の要因と形態の関係を明らかにしやすい。

設計

・ボトムアップ式設計型に向く。

問題発見型気流解析手法



限定した範囲の為、解析時間を短く繰り返せる。
大量の結果を比較し、現象と要因の関係を発見し易い。

PDF Compressor Pro

仮説

問題発見型気流解析手法を用いれば、以下の４つの問題は解決される。

①「広域モデルを用いた気流解析の非効率性と非効果性」

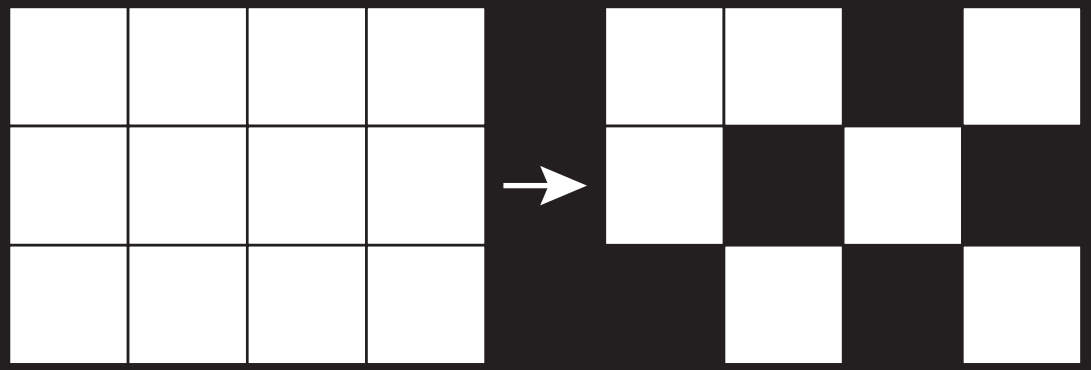
②「他の設計条件との両立性」

③「組合せ爆発問題」

④「要因発見の困難性」

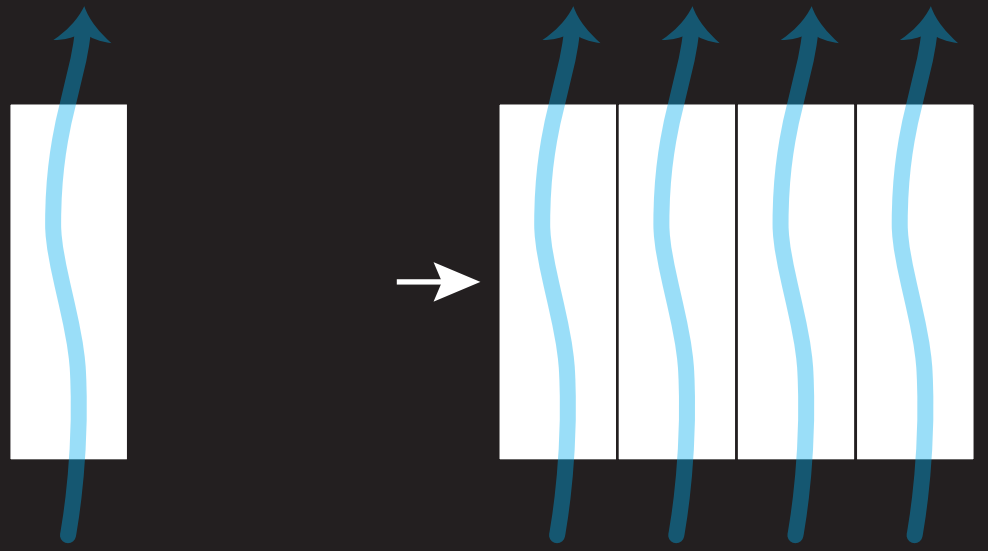
PDF Compressor Pro

Build Live Chiba
トップダウン式設計



全体として
多様な空間

ユニテダビタシオン



良好な通風環境

複製配列

全体として
多様でない

PDF Compressor Pro

目的

空間的に多様で快適なオフィス空間をつくる。

問題発見型気流解析手法を用いることで、
４つの問題を解決できることを明らかとする。

優れた通風環境を確保しながら、空間的な多様性にも対応可能
な手法であることを明らかにする。

PDF Compressor Pro

実験

部分

実験 1　Void の通風確保を目的としたブロック配置ルールの発見

実験 2　単位ユニット (3×3 ブロック)　Void 通風性の確認

実験 3　南北連結ユニット　通風性保持を目的とした連結ルールの発見

実験 4　連結ユニット (3×3 ユニット) Void の通風性と室内通風快適性の確認

実験 5　最終連結ユニット (3×8 ユニット)　室内通風快適性の確認

Volume 解析

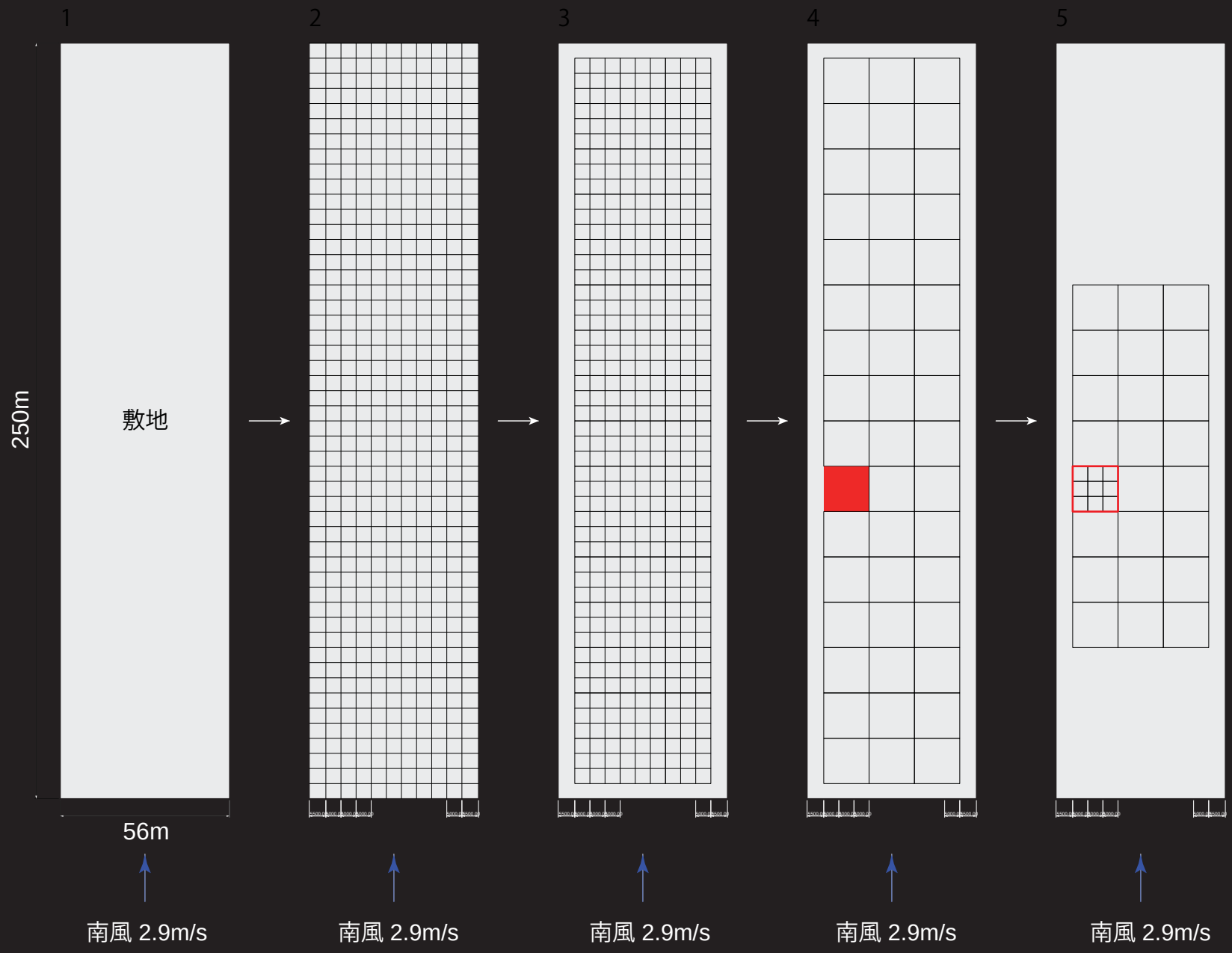
室内解析

全体

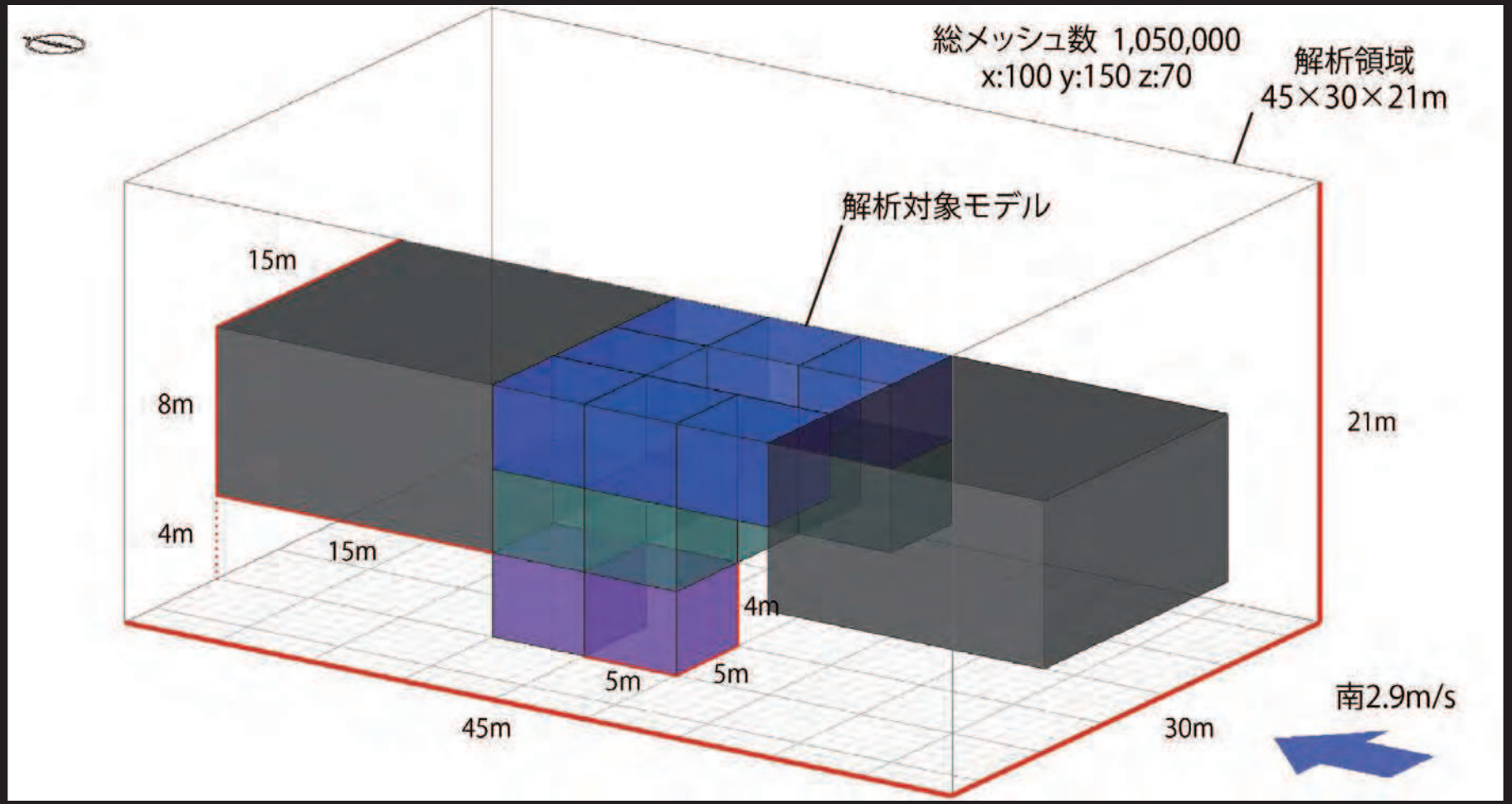
PDF Compressor Pro

実験 1

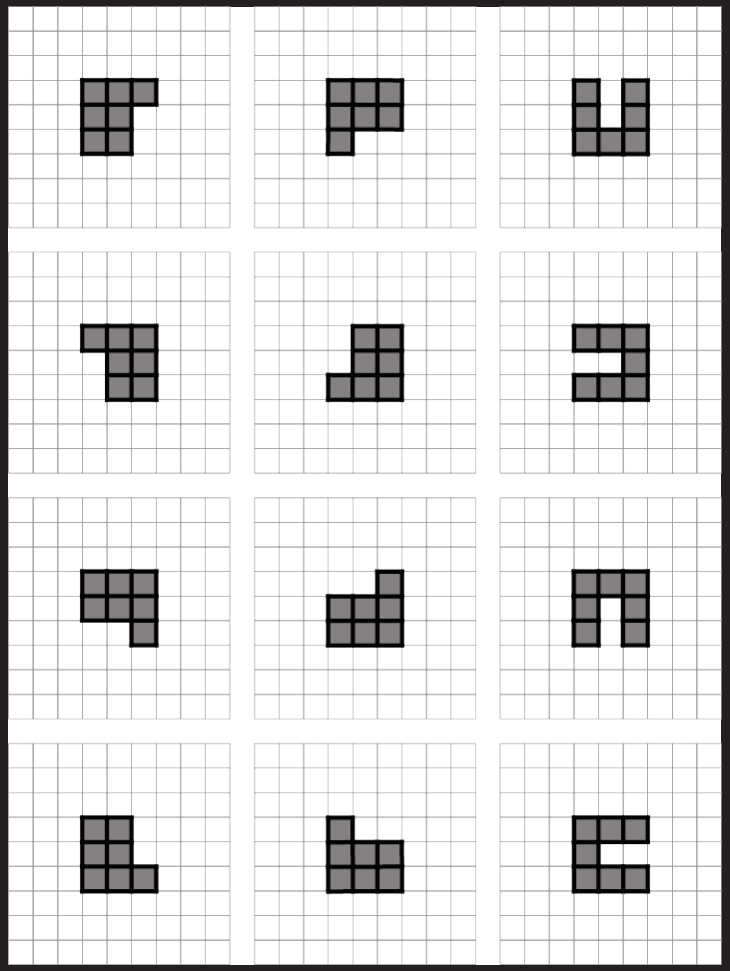
Void の通風確保を目的としたブロック配置ルールの発見

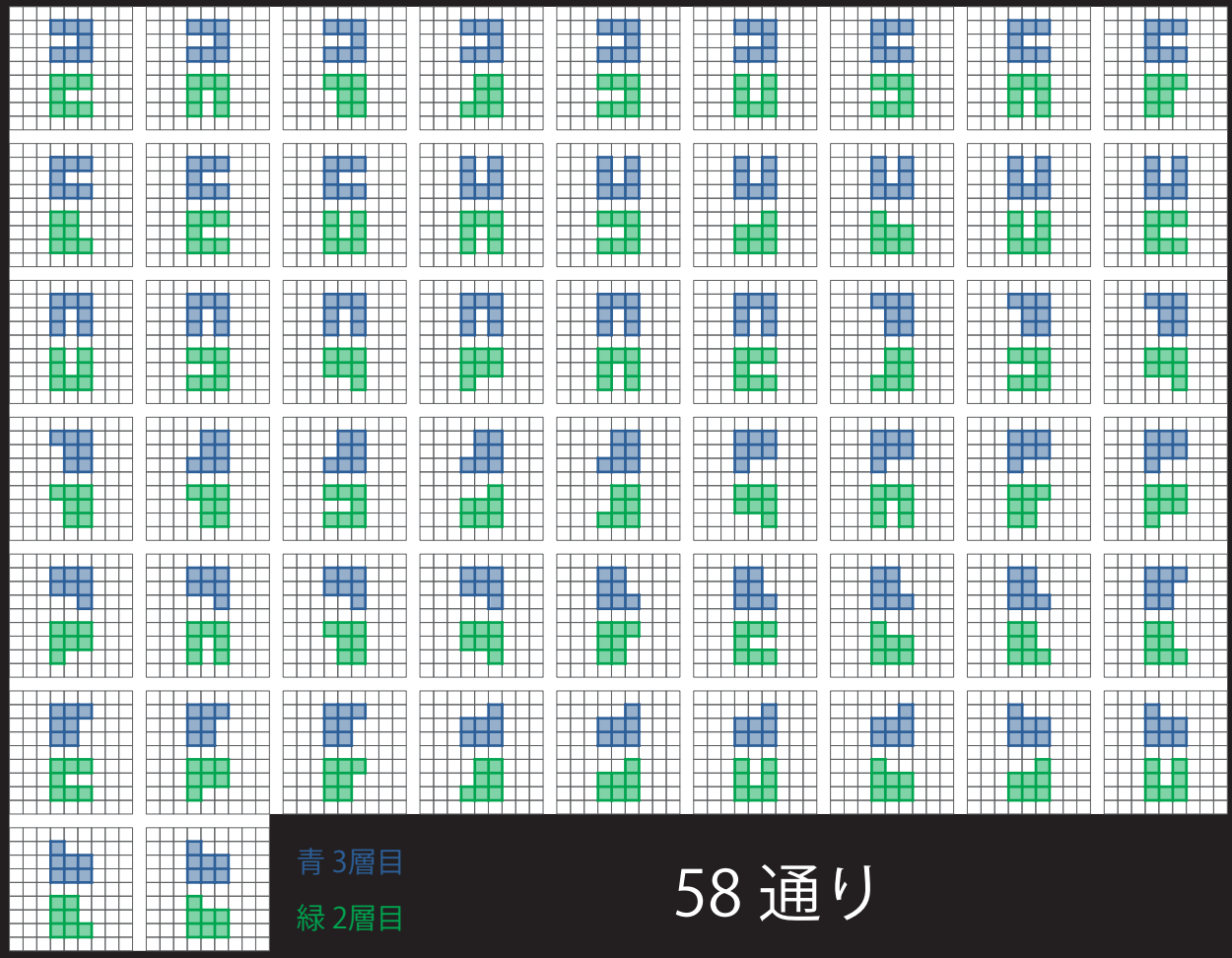


PDF Compressor Pro



PDF Compressor Pro



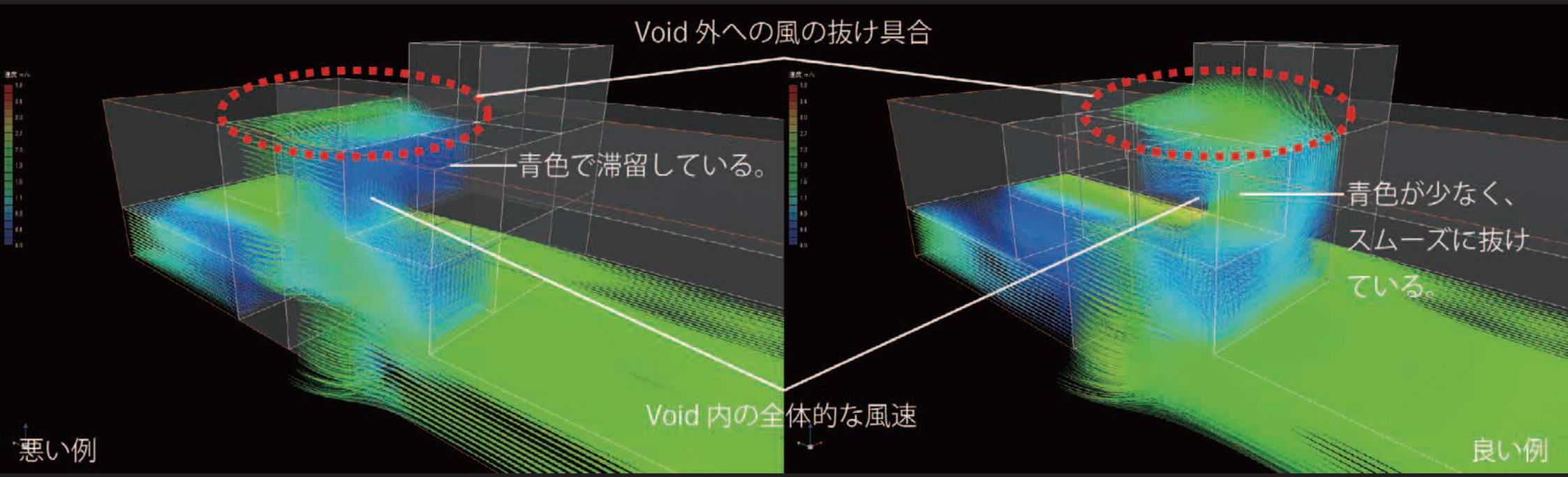


青 3層目

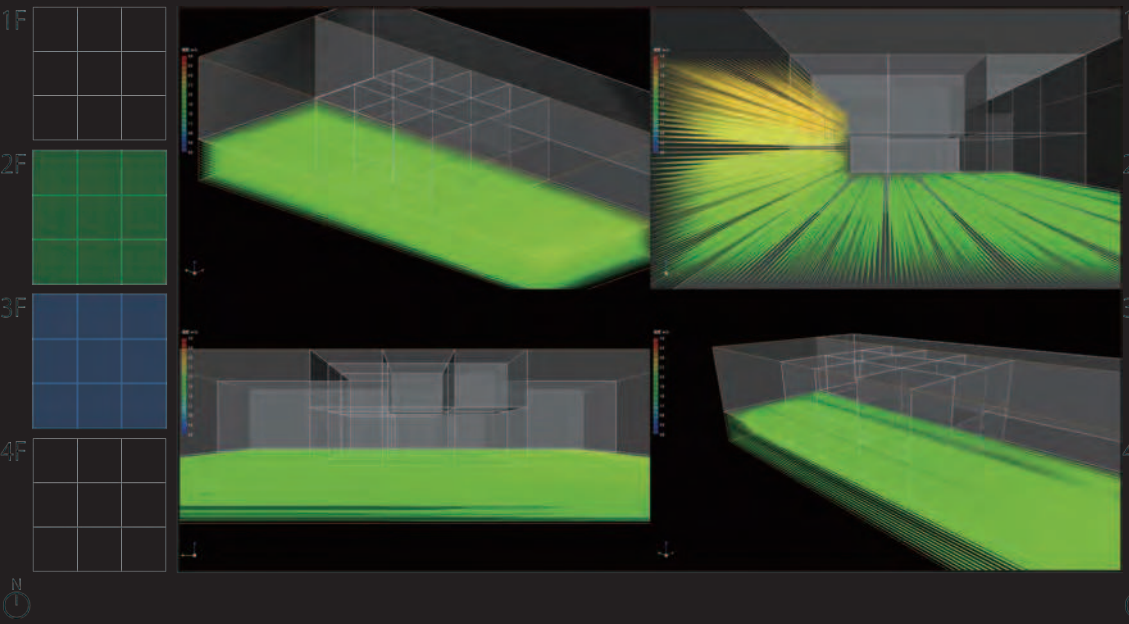
緑 2層目

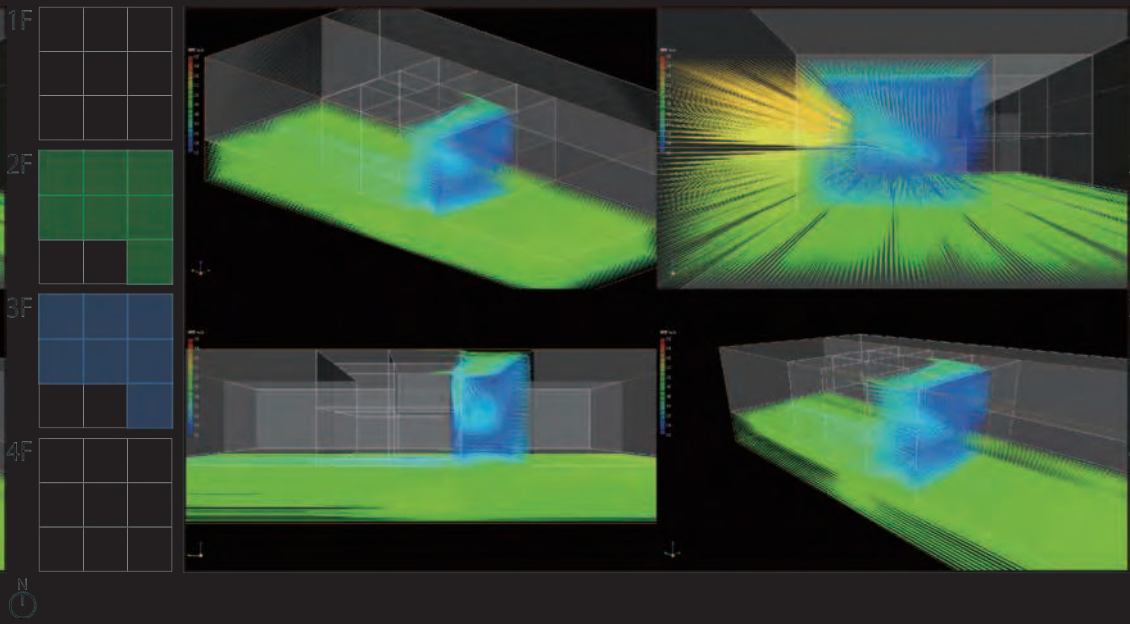
58 通り

PDF Compressor Pro

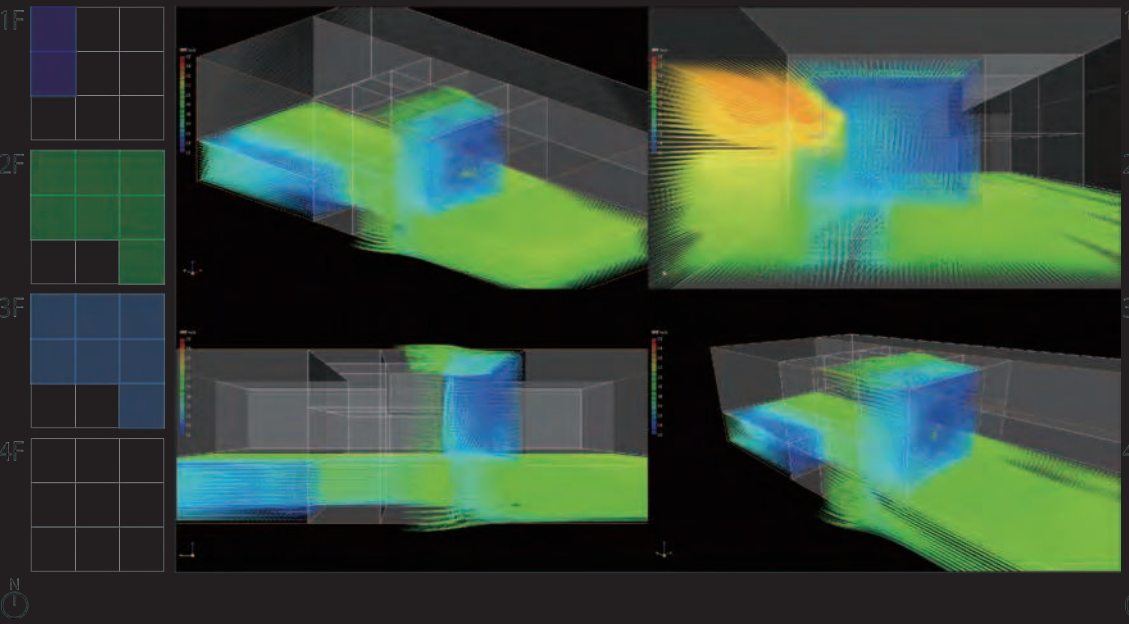


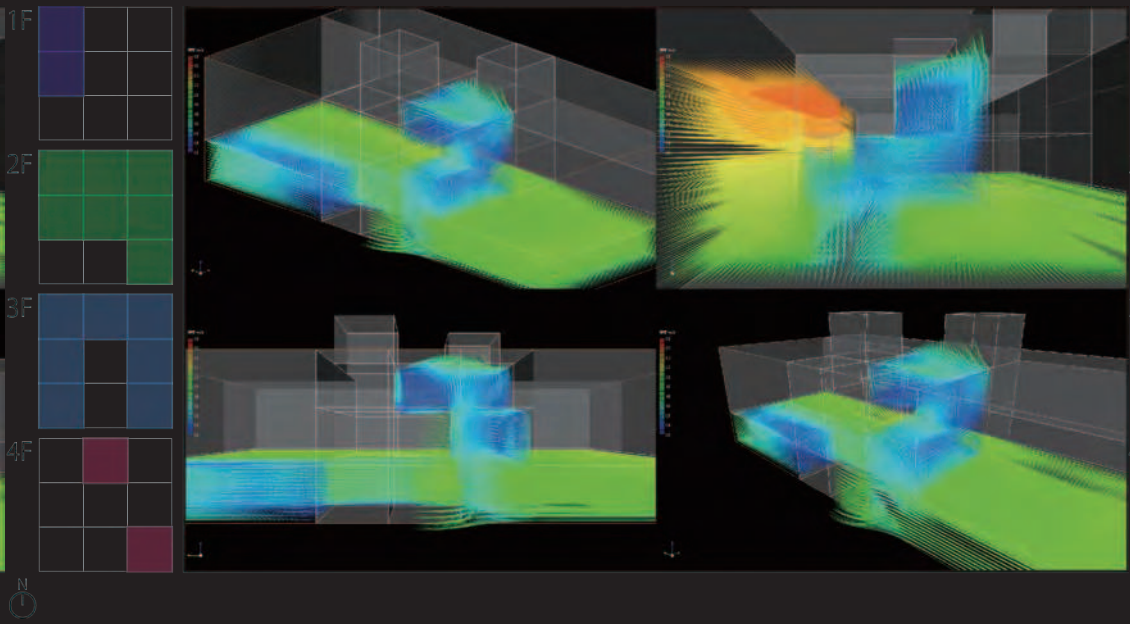
PDF Compressor Pro



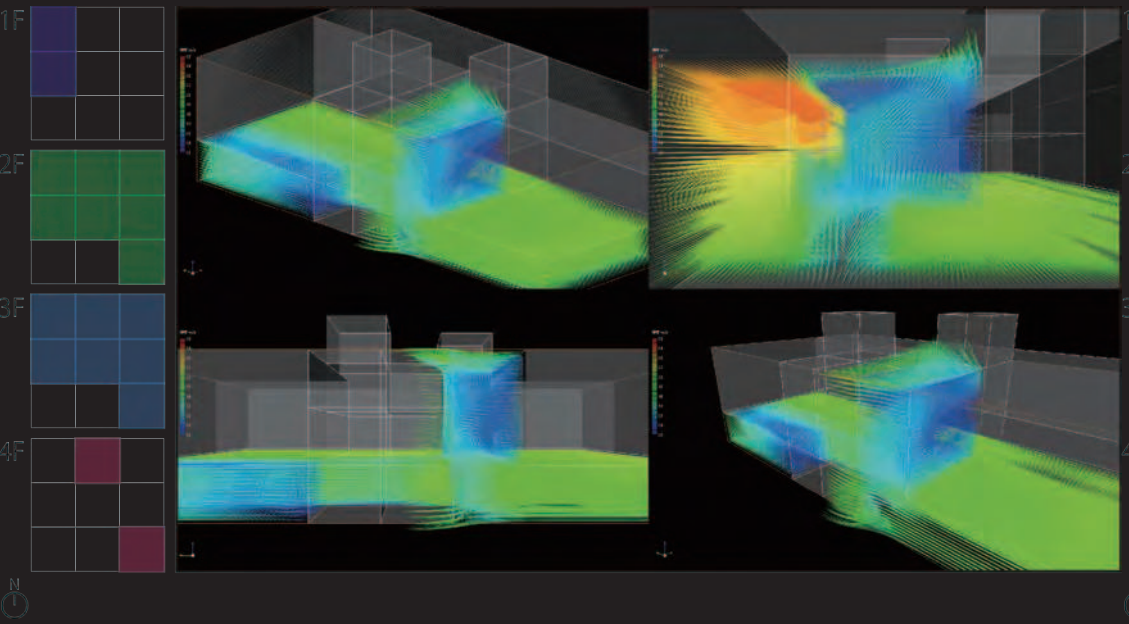


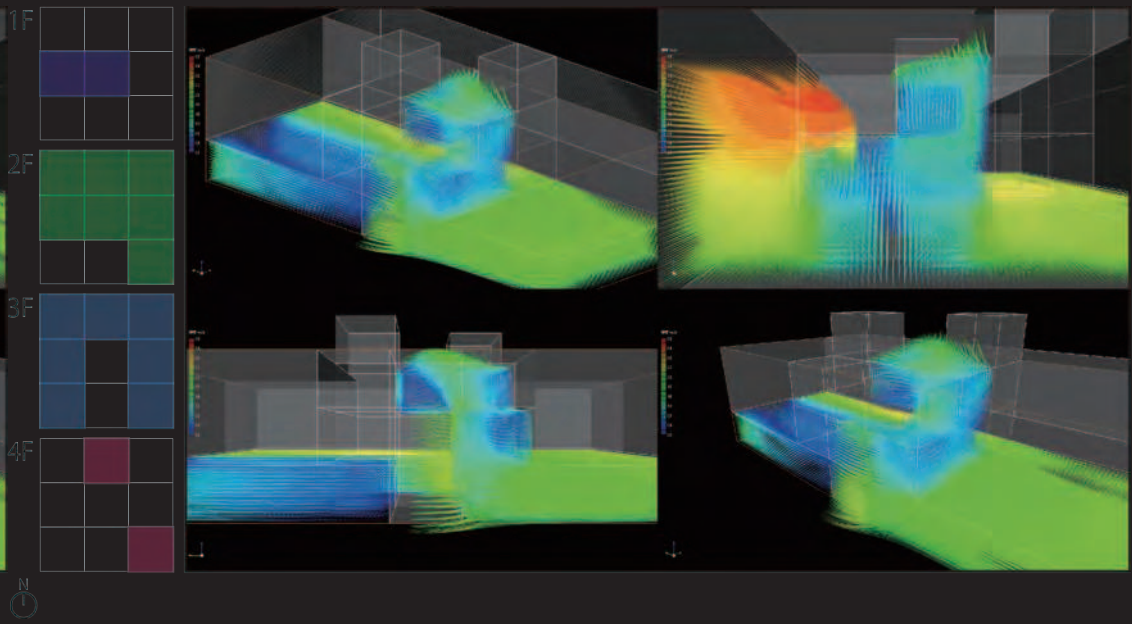
PDF Compressor Pro



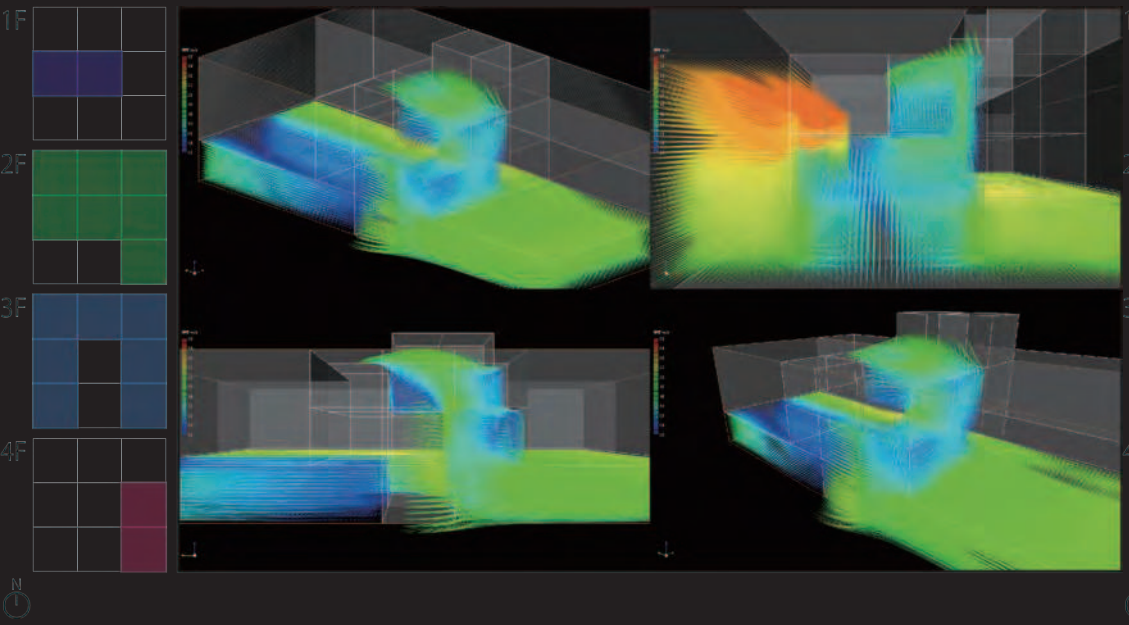


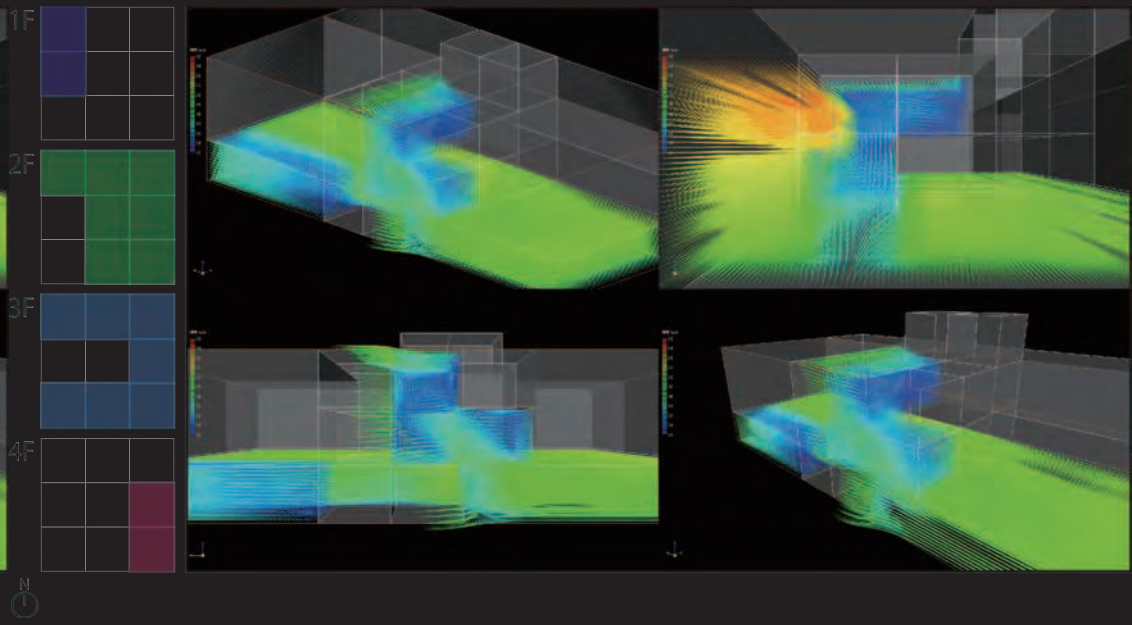
PDF Compressor Pro



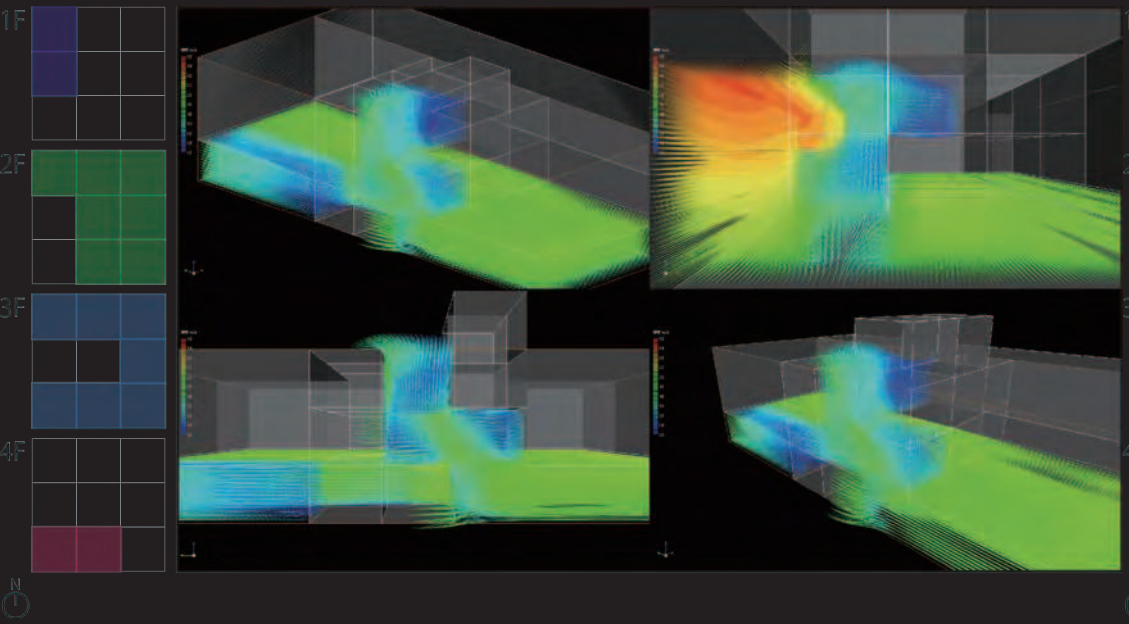


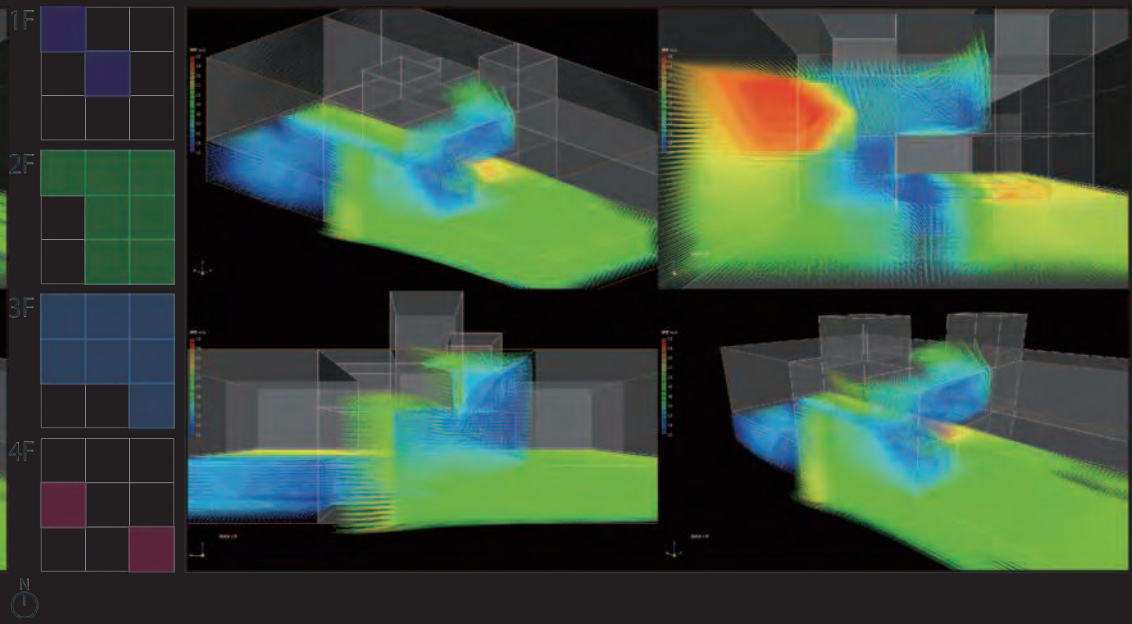
PDF Compressor Pro



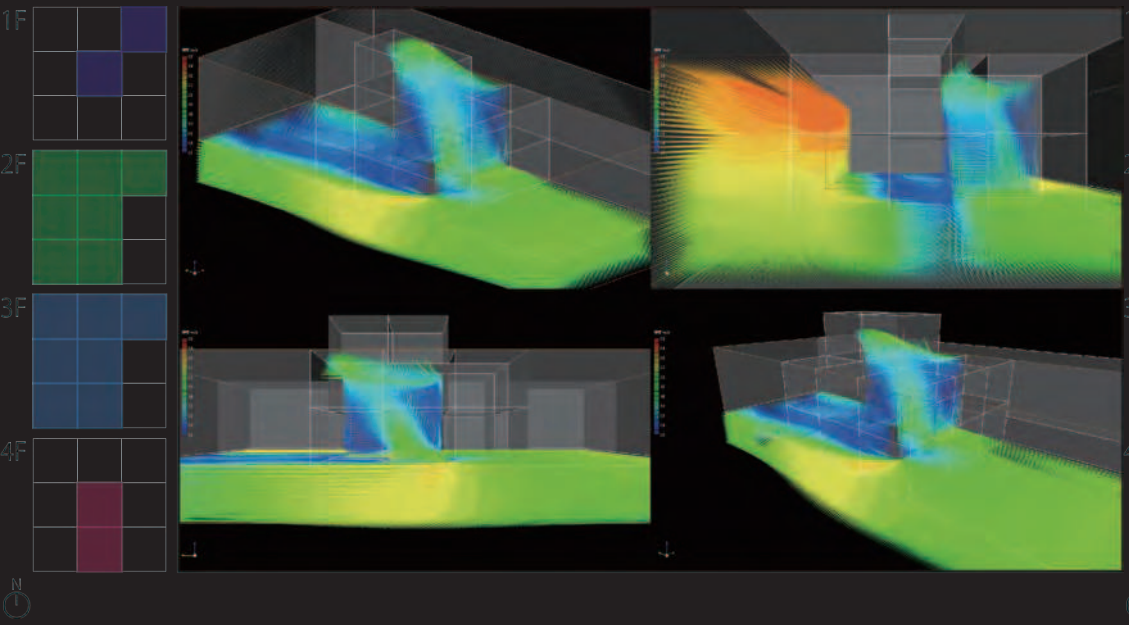


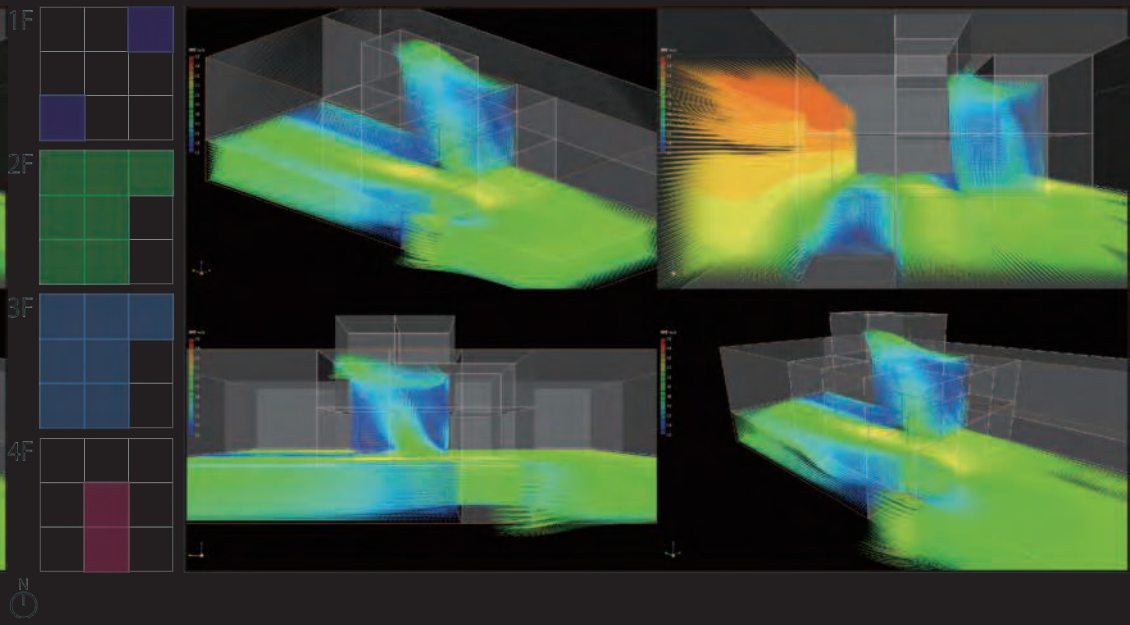
PDF Compressor Pro





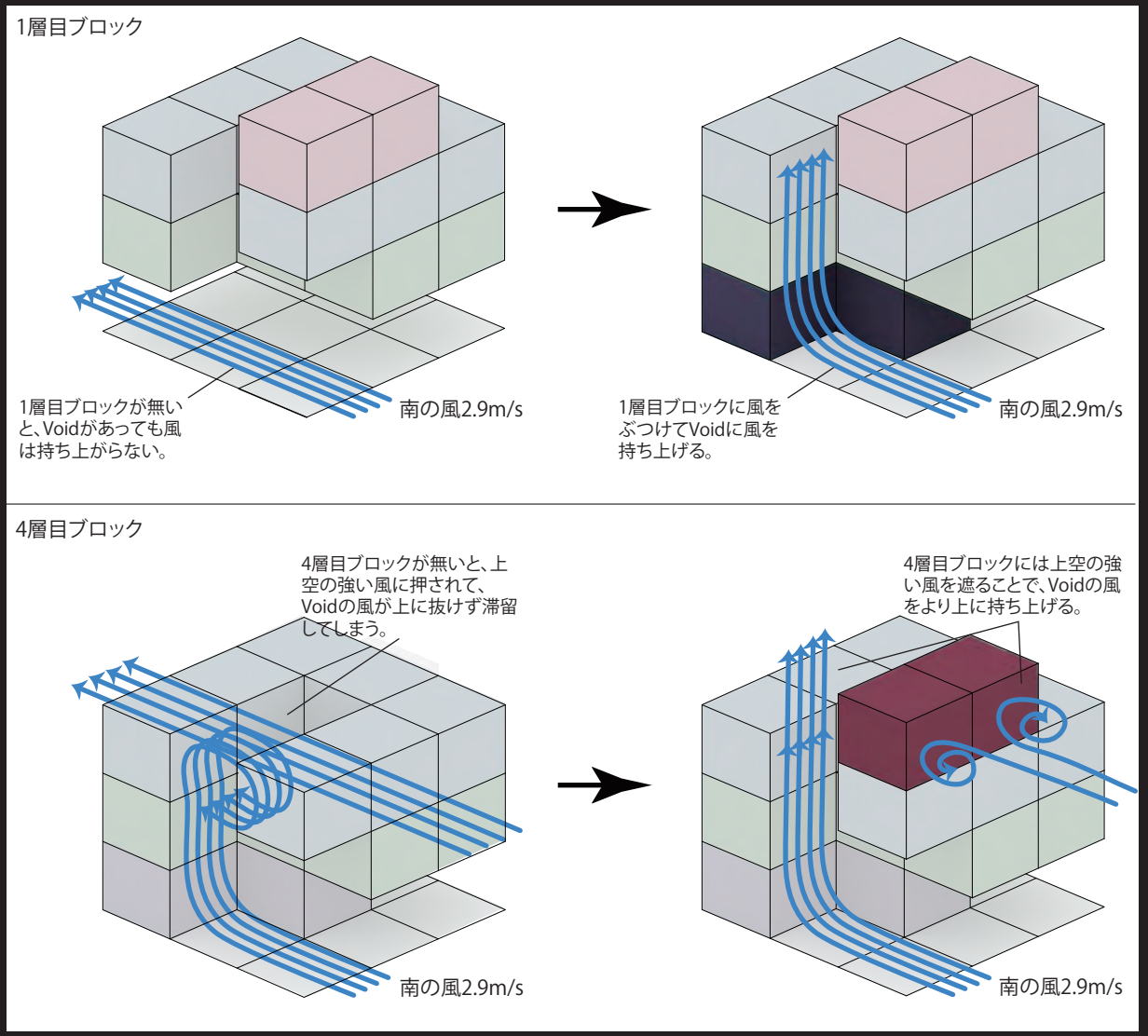
PDF Compressor Pro





PDF Compressor Pro

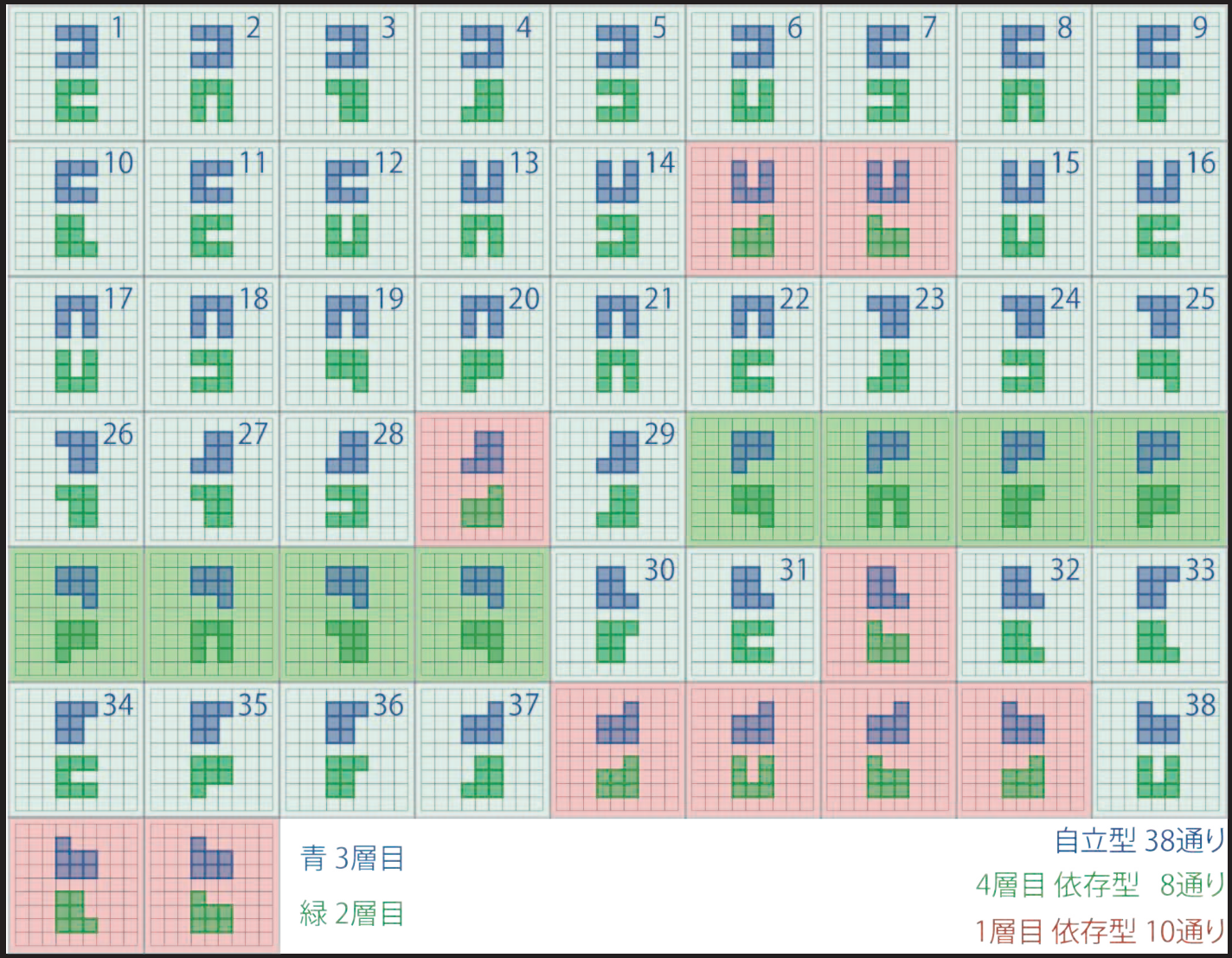
実験１考察　Void の通風確保を目的としたブロック配置ルールの発見



PDF Compressor Pro

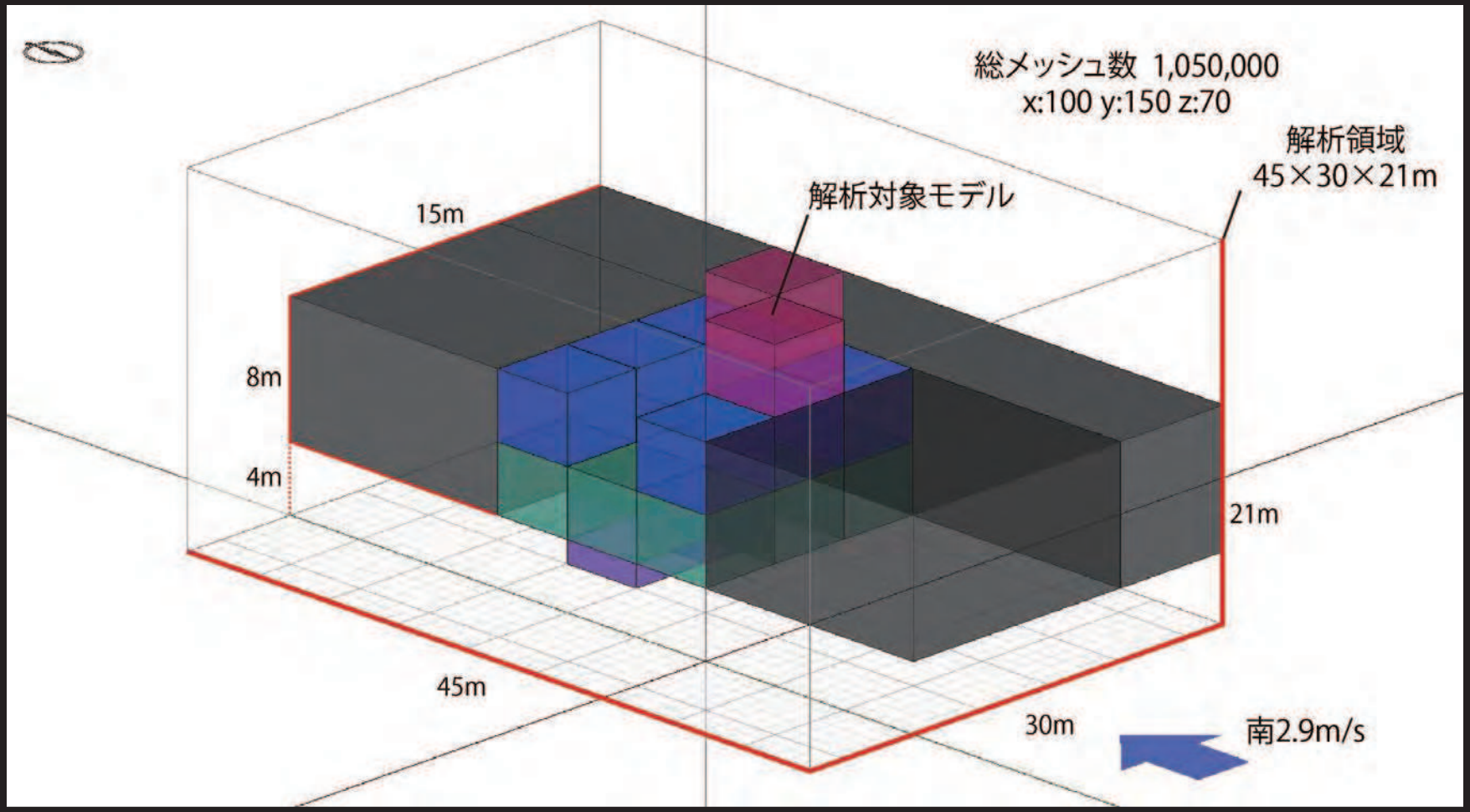
実験 2

単位ユニット (3×3 ブロック)　Void 通風性の確認

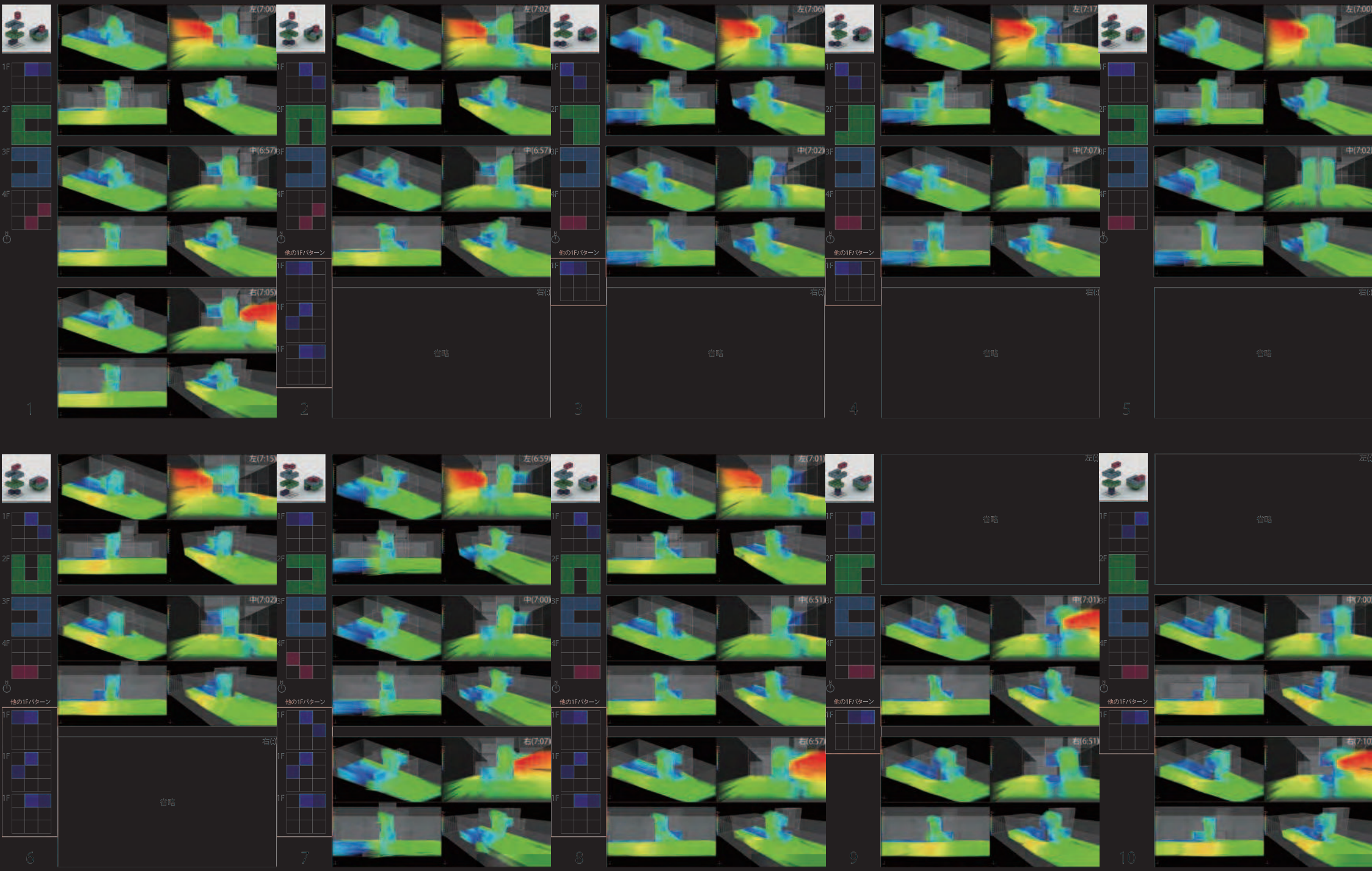


PDF Compressor Pro

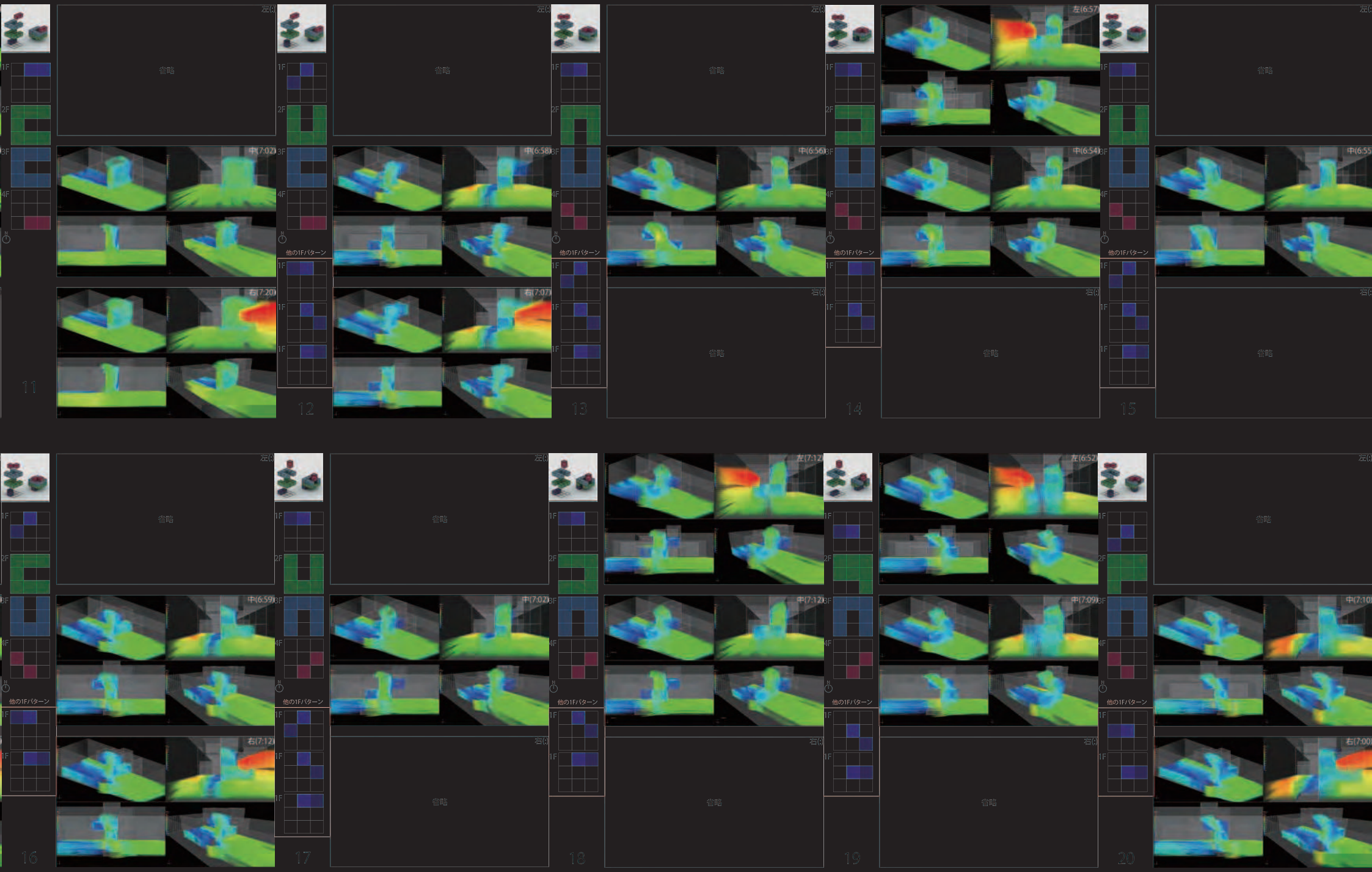
PDF Compressor Pro



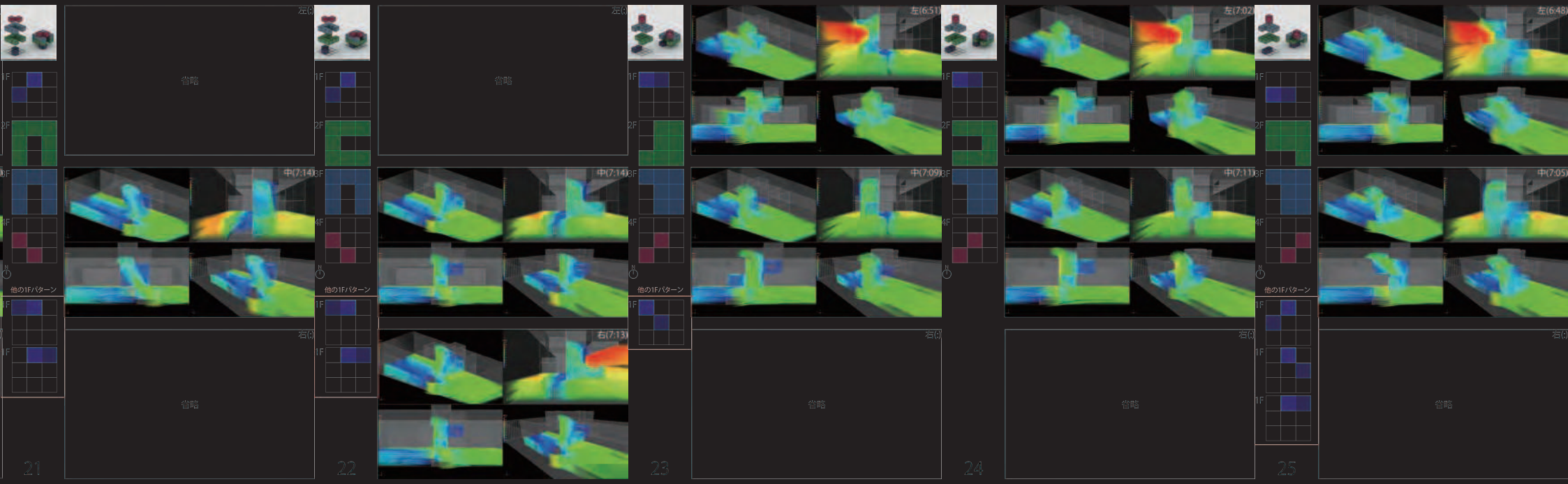
PDF Compressor Pro

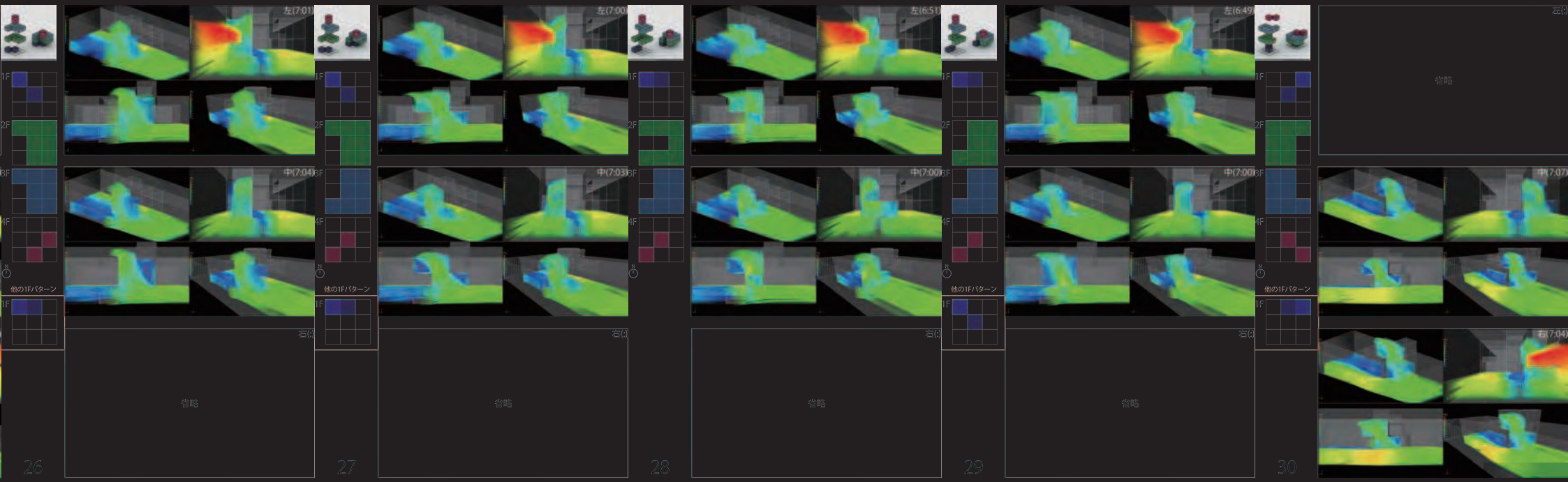


PDF Compressor Pro

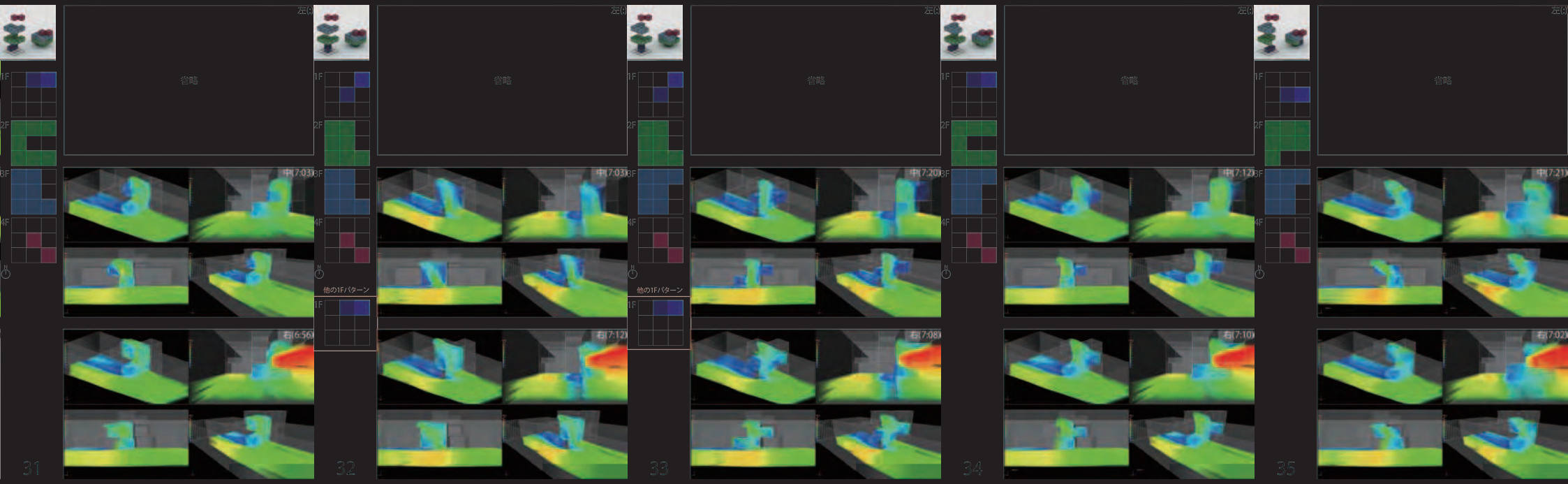


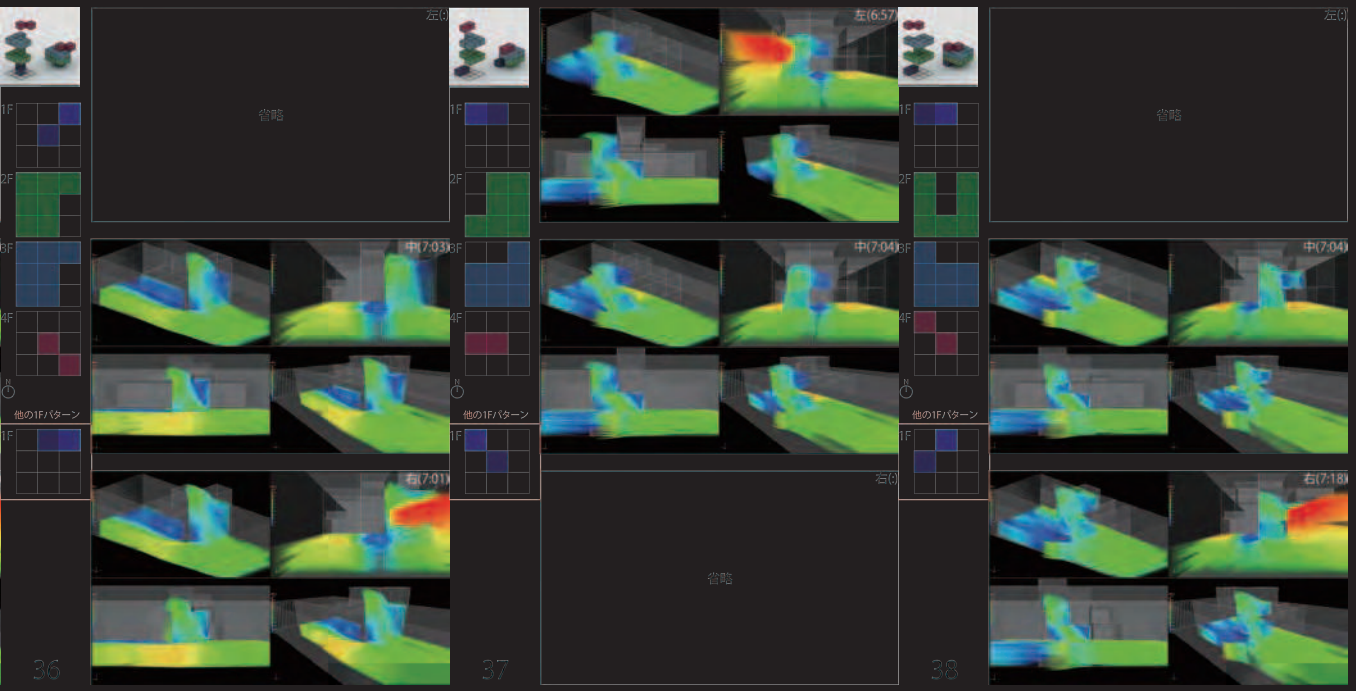
PDF Compressor Pro





PDF Compressor Pro





PDF Compressor Pro

実験 2 考察

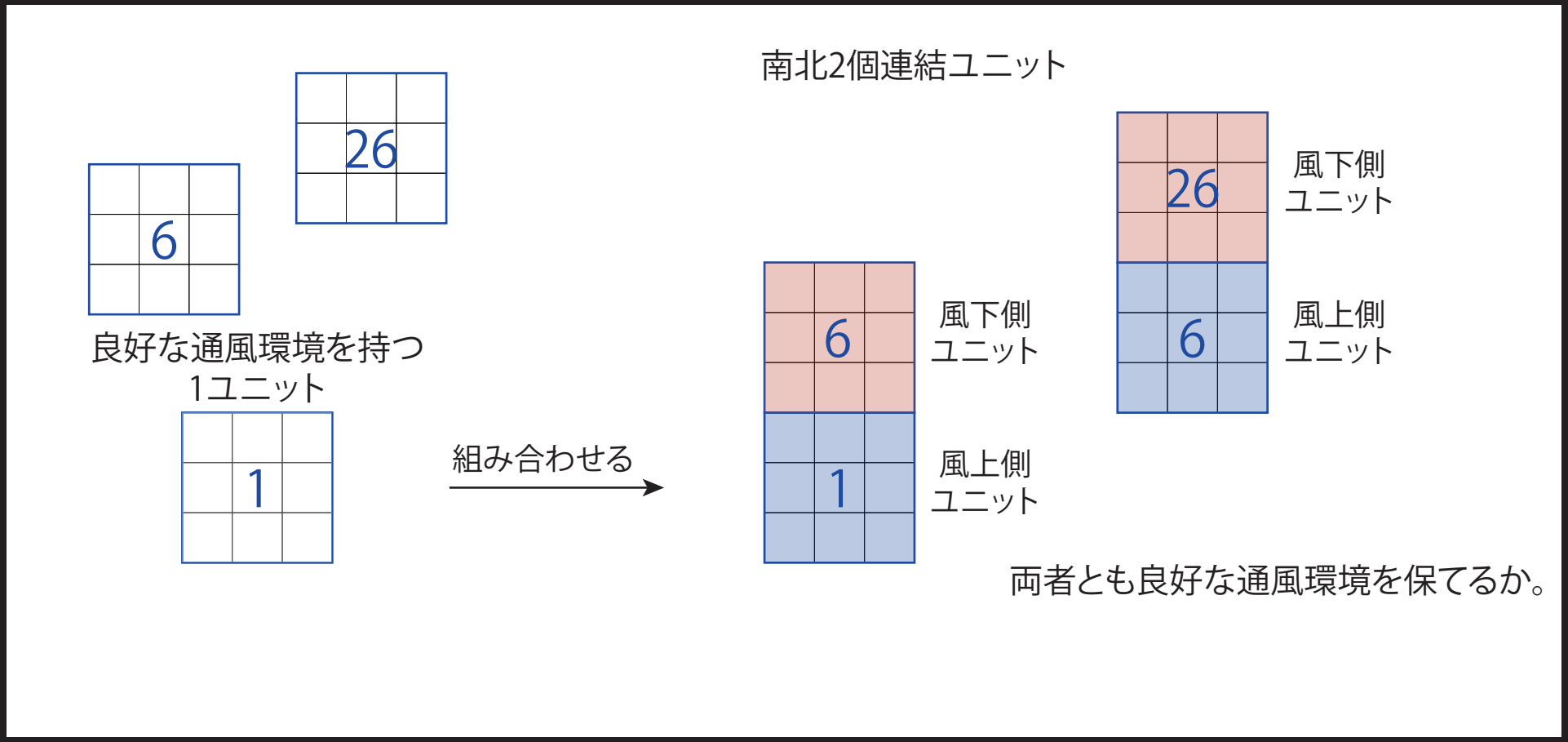
単位ユニット (3×3 ブロック)　Void 通風性の確認

風を 1 層目にぶつけることのできる好条件であれば、
良好な通風環境が確保出来ることを確認できた。

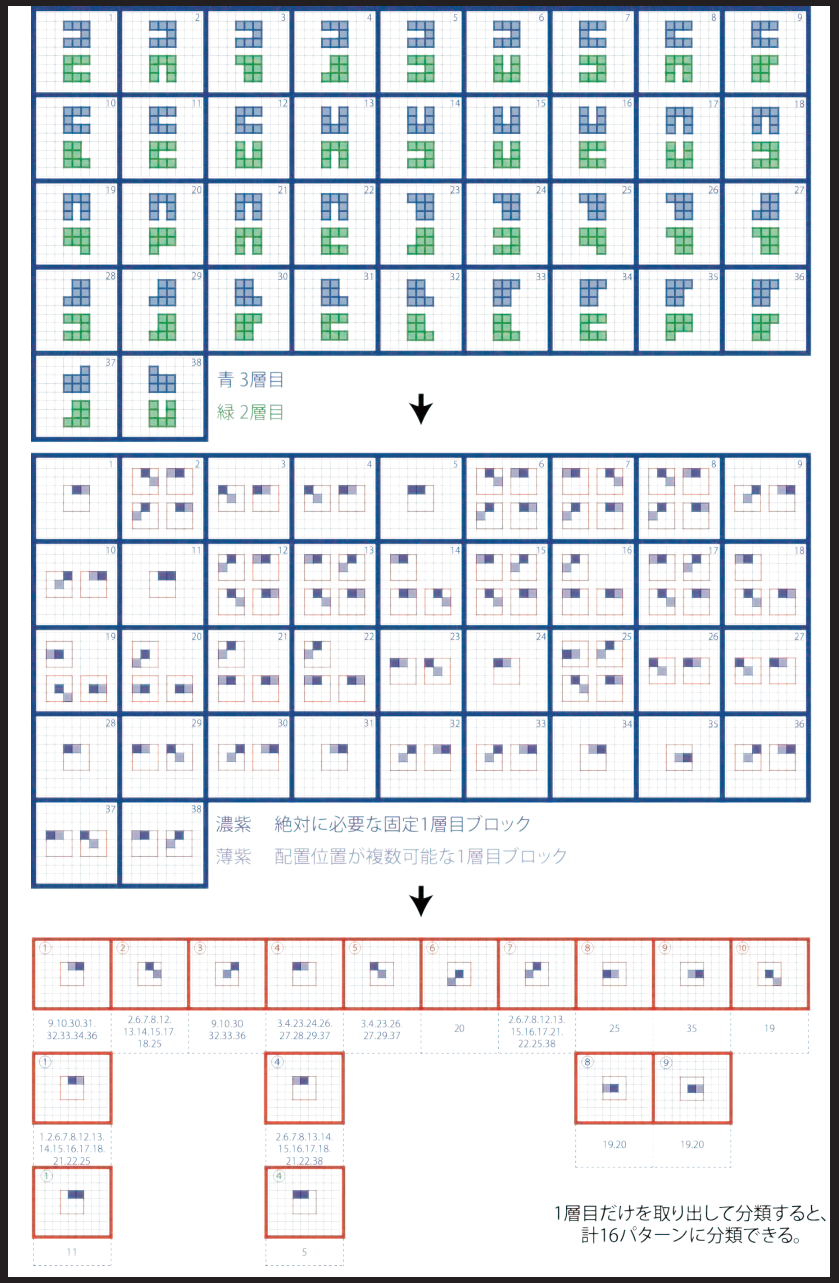
単位ユニットを連結する。

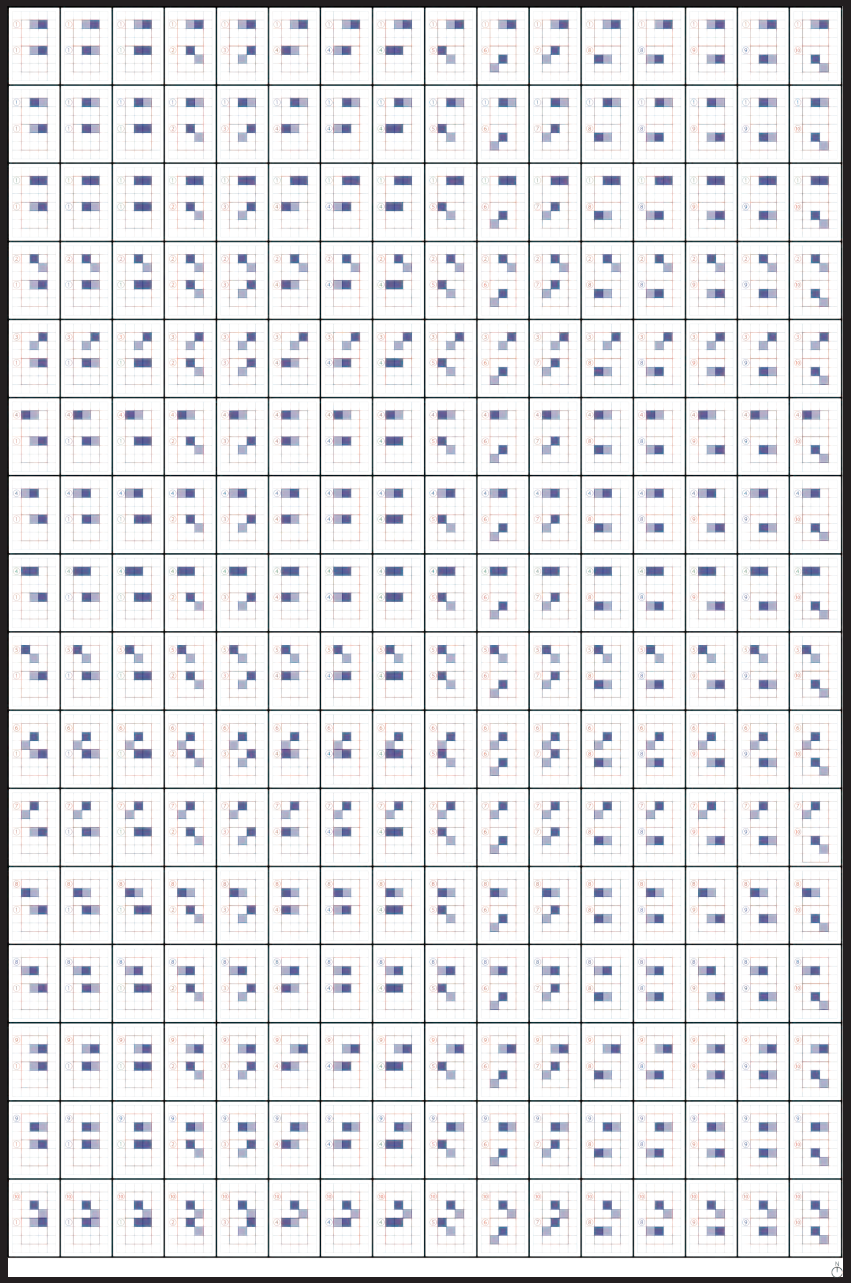
PDF Compressor Pro

実験 3　南北連結ユニット　通風性保持を目的とした連結ルールの発見



PDF Compressor Pro





PDF Compressor Pro

① 同じ種類のブロック配置が南北に連続した場合

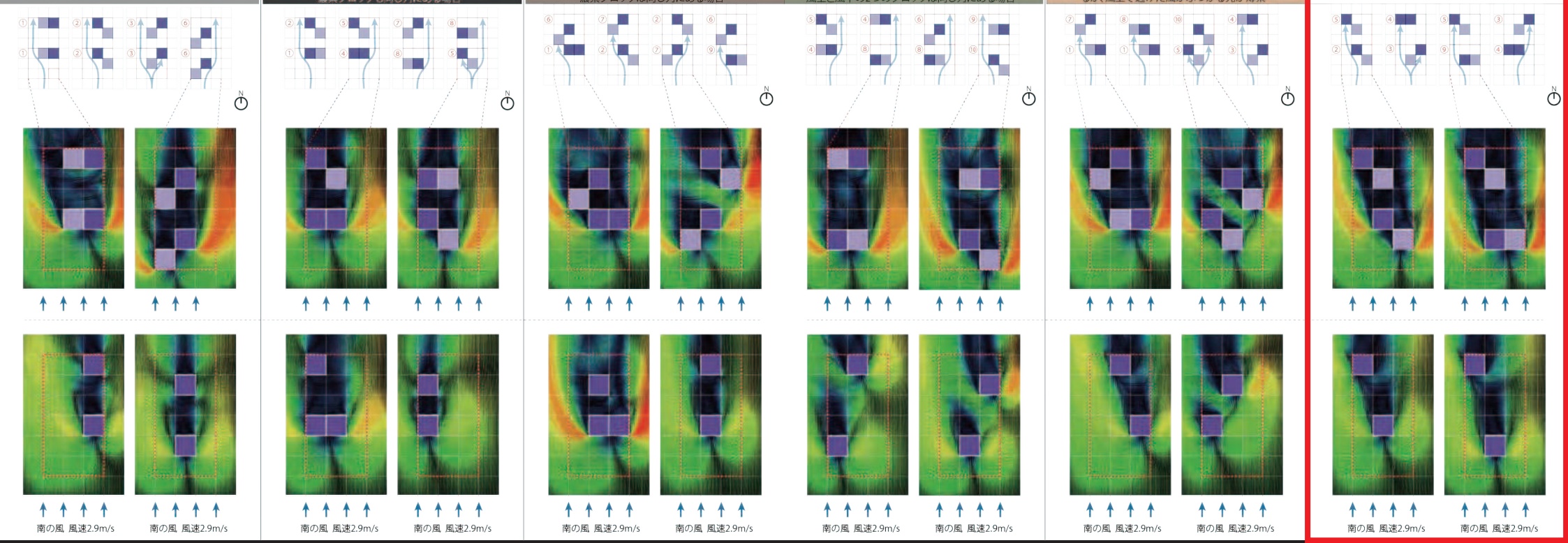
② 南北の同じ列にブロック配置が連続し、且つ濃紫ブロックも同じ列にある場合

③ 風上と風下で列がずれて配置されているが、濃紫ブロックは同じ列にある場合

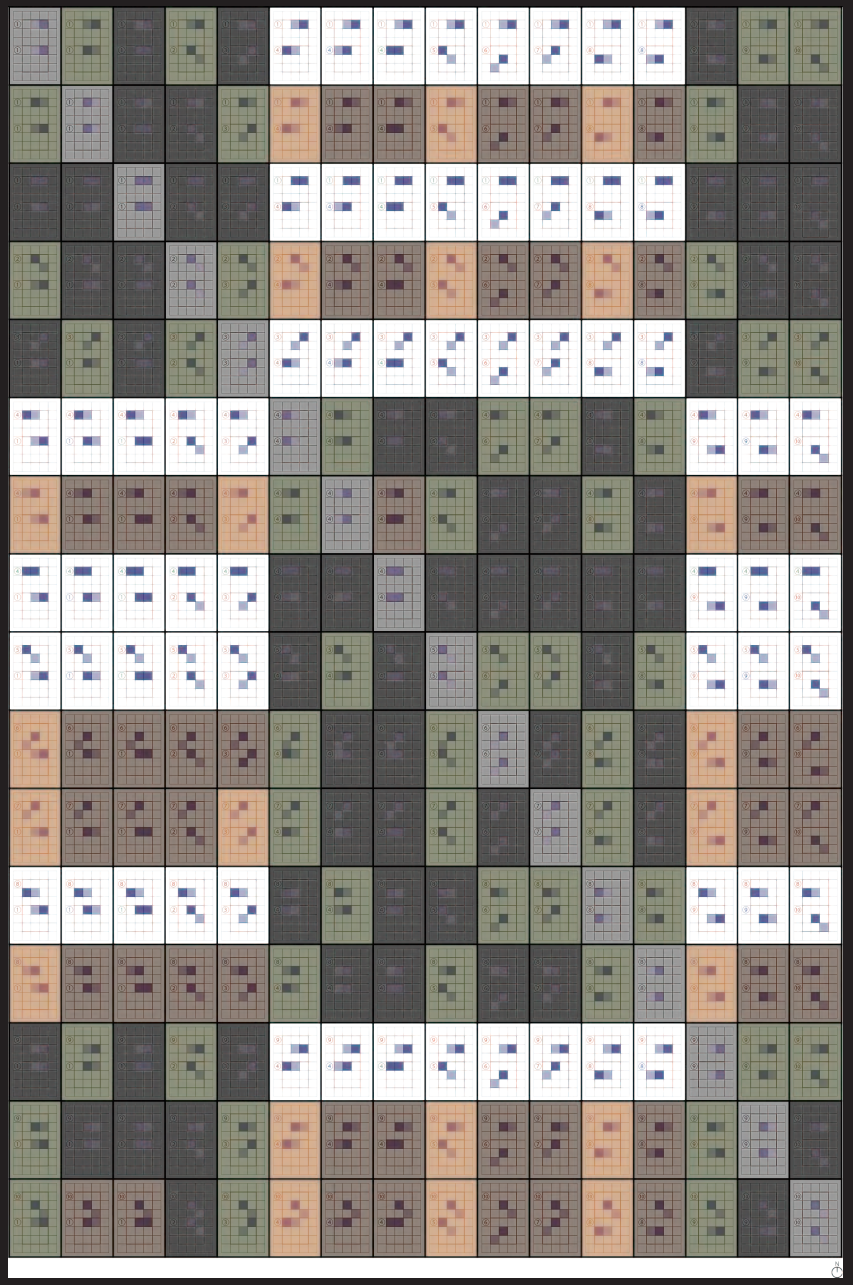
④ 濃紫ブロックは違う列にあるが、風上と風下の2つのブロックは同じ列にある場合

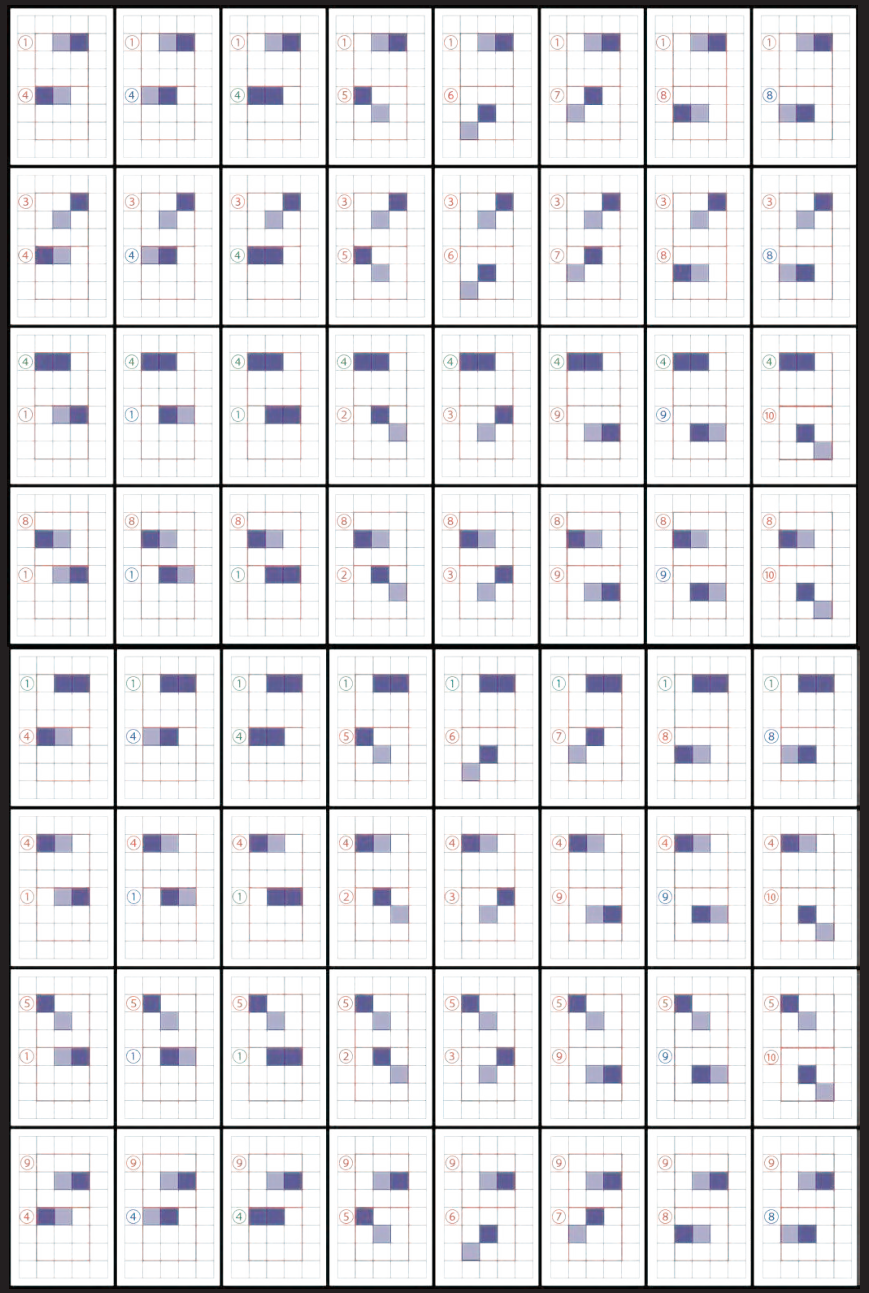
⑤ 風上と風下も、濃紫ブロックも違う列にずれているが、風上で逃げた風がぶつかる先が薄紫

⑥ 風上も風下にも風が上手く流れる場合



PDF Compressor Pro





PDF Compressor Pro

実験 3 考察　南北連結ユニット 通風性保持を目的とした連結ルールの発見

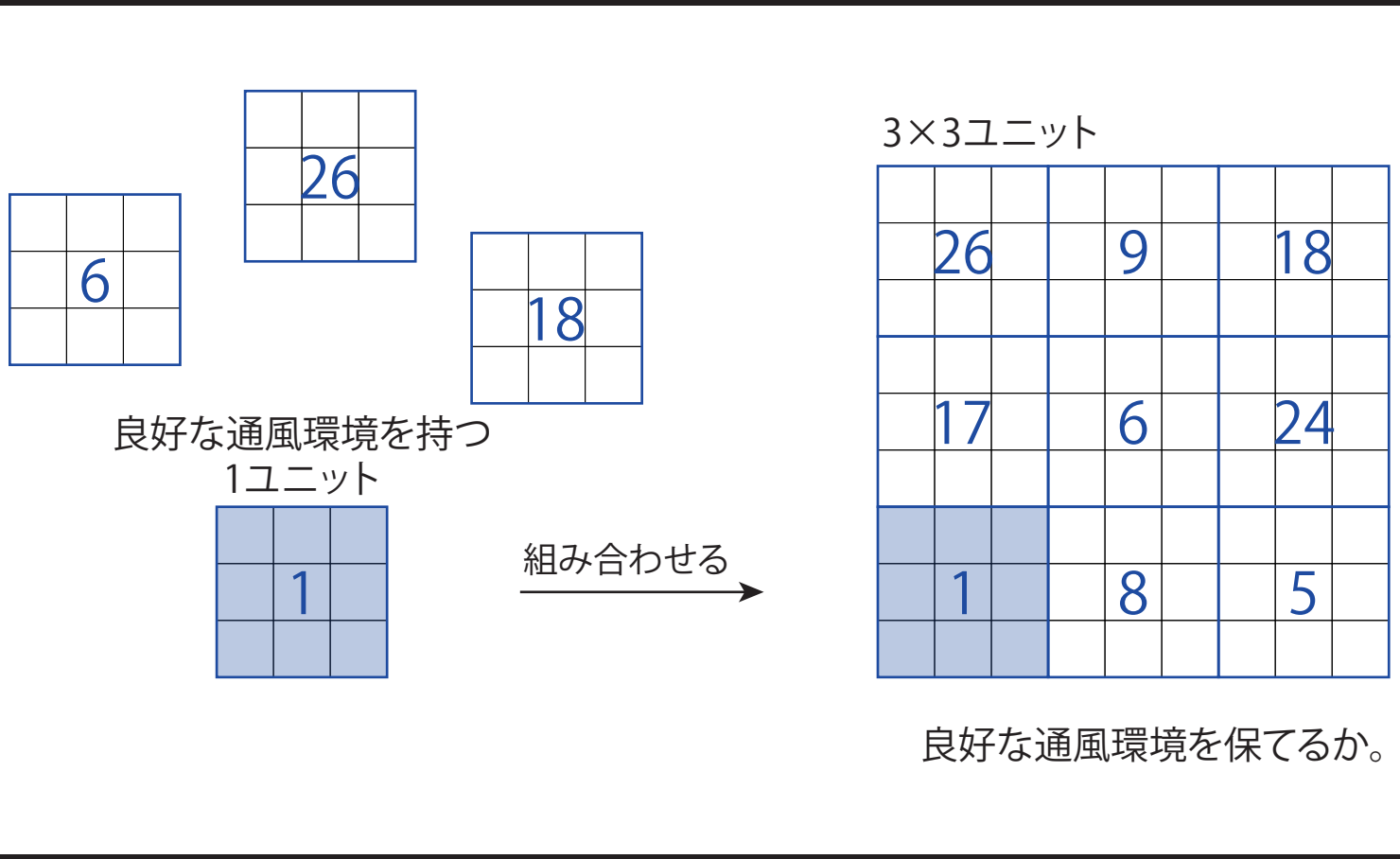
つまり 64 通りの中から、いずれを取り出して組み合わせても、
良好な通風環境を得ることができるといえる。

↓

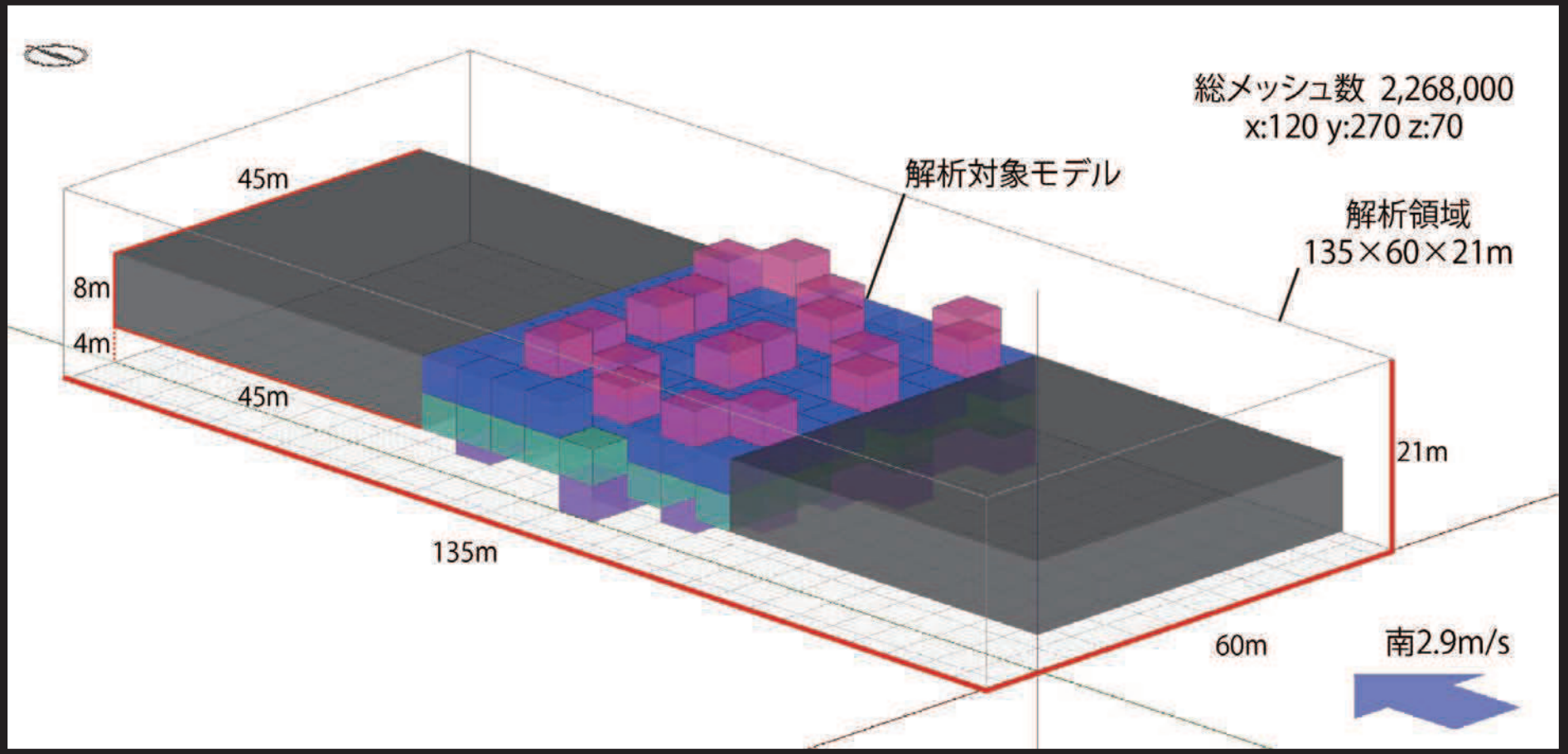
次の実験では本実験で得られた連結ルールを基に、
3×3 ユニットで連結させたモデルの通風性を確認する。

PDF Compressor Pro

実験 4　連結ユニット (3×3 ユニット) Void の通風性と室内通風快適性の確認

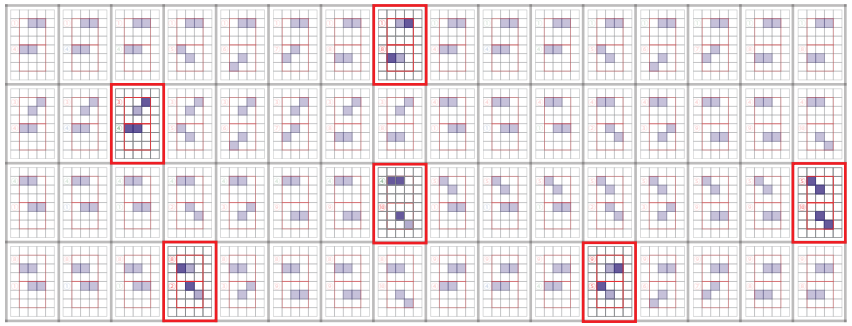


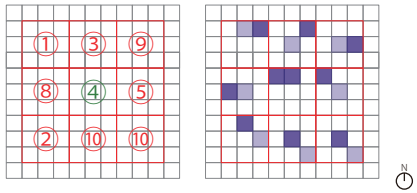
PDF Compressor Pro



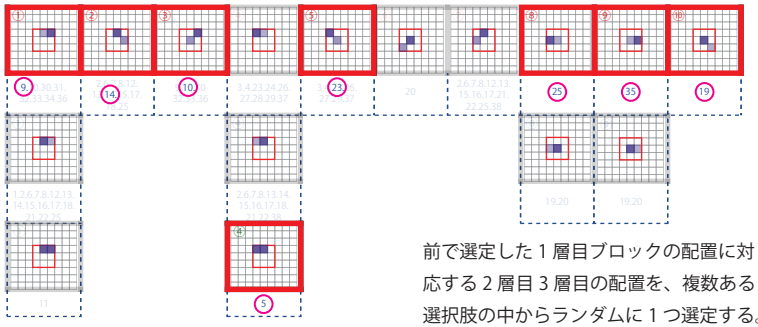
PDF Compressor Pro

1 層目ブロック

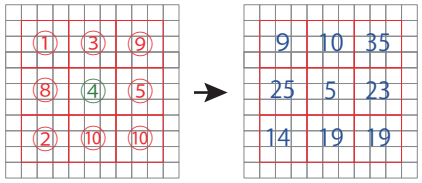




風上と風下の両方で、風を上手く取り込むことのできる 64 通りの中からランダムに選択し、3 マス × 3 マスの 1 層目連結ユニットをつくる。



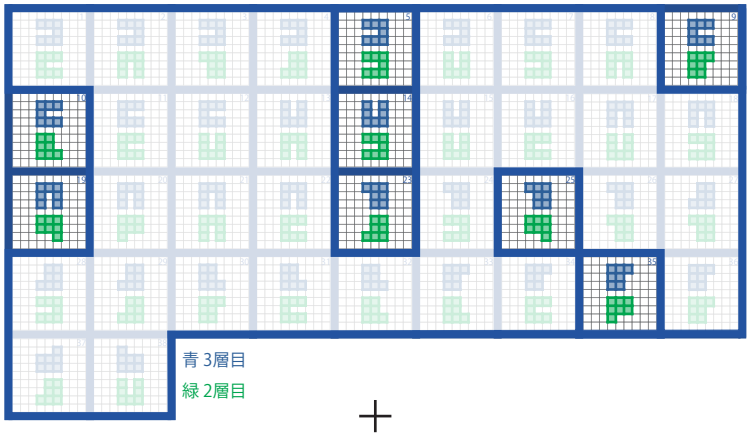
前で選定した 1 層目ブロックの配置に対応する 2 層目 3 層目の配置を、複数ある選択肢の中からランダムに 1 つ選定する。



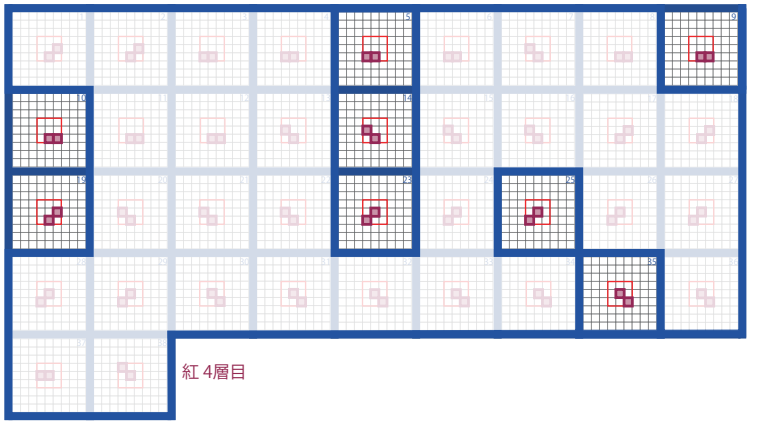
1 層目対応番号

2.3.4 層目対応番号

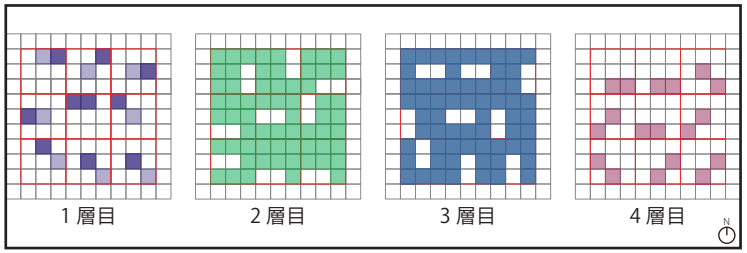
2.3 層目ブロック



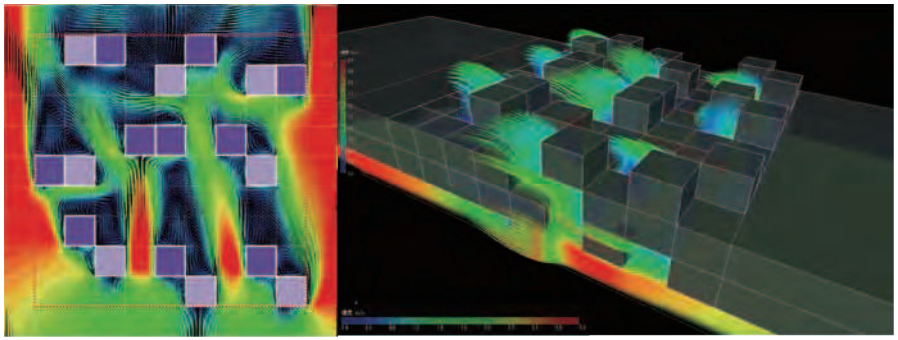
4 層目ブロック



前で選定した番号に対応した 2.3.4 層目のブロックの配置を連結させ、以下のように 3×3 の連結ユニットを完成させる。

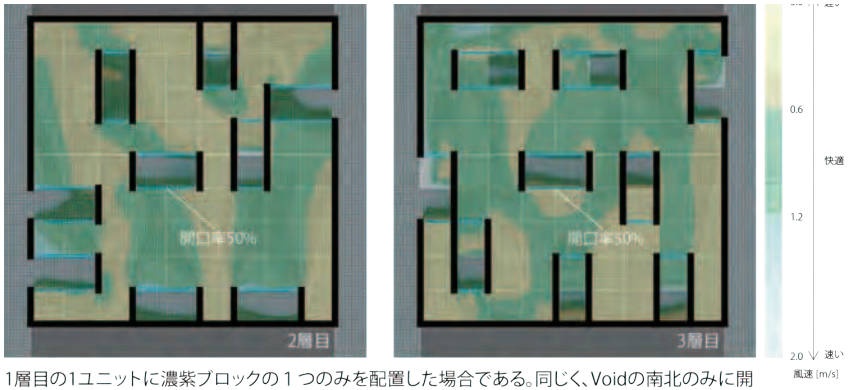


PDF Compressor Pro

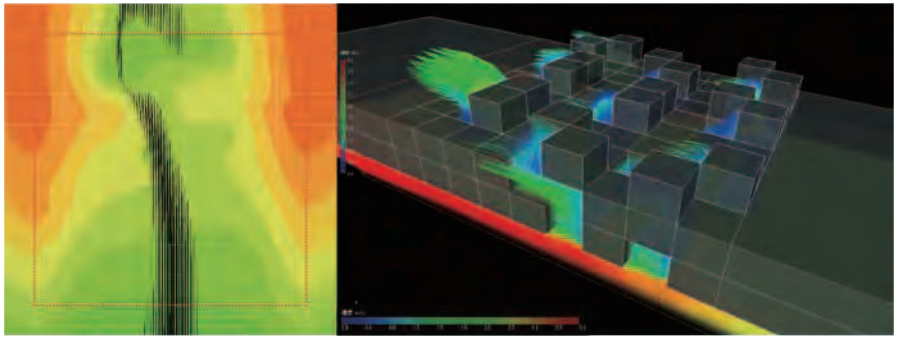


南の風 風速2.9m/s

各ユニットの1層目に、2個ブロックが配置されたのを、濃紫ブロックのみにしたところ、よりスムーズに風が1層目のピロティを抜けつつ、濃紫ブロックにしっかりとぶつかっていることが分かった。 また、右の解析結果から、2つブロックがあるものよりも通風性能を上げた結果となった。

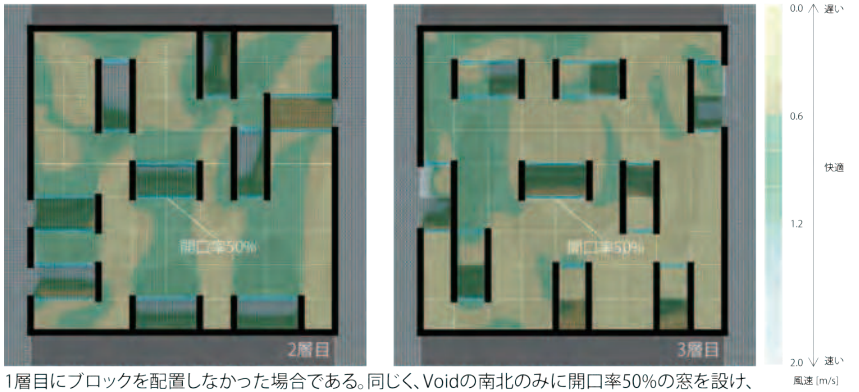


1層目の1ユニットに濃紫ブロックの１つのみを配置した場合である。同じく、Voidの南北のみに開口率50%の窓を設け、室内の通風快適性を確認した。結果、2・3層ともに緑色で示した快適域が室内に広がり、室内に水色の強風域も無い。快適な風が室内を流れることが確認できた。



南の風 風速2.9m/s

試しに、1層目ブロックに何も置かなかった場合を解析にかけてみた。Voidの通風性能が上二つと比べて下がっていることが一目瞭然である。Voidを抜ける風にムラも出ていて、風の通り道として機能していない。



1層目にブロックを配置しなかった場合である。同じく、Voidの南北のみに開口率50%の窓を設け、室内の通風快適性を確認した。結果、2層目には、ピロティを流れる風の影響で快適域が広がっているが、3層目にはVoidを通して風が抜けていない為、黄色の領域が多く、風が滞留している。

PDF Compressor Pro

実験 4 考察 連結ユニット (3×3 ユニット) Void の通風性と室内通風快適性の確認

64 通りある「風上も風下にも風が上手く流れる場合」の連結パターンの組み合わせによって、3×3 の連結ユニットにおいても、良好な通風環境を得ることが出来た。

また、開口率 50% の窓を設けると、室内を快適域の風が広がることも分かった。

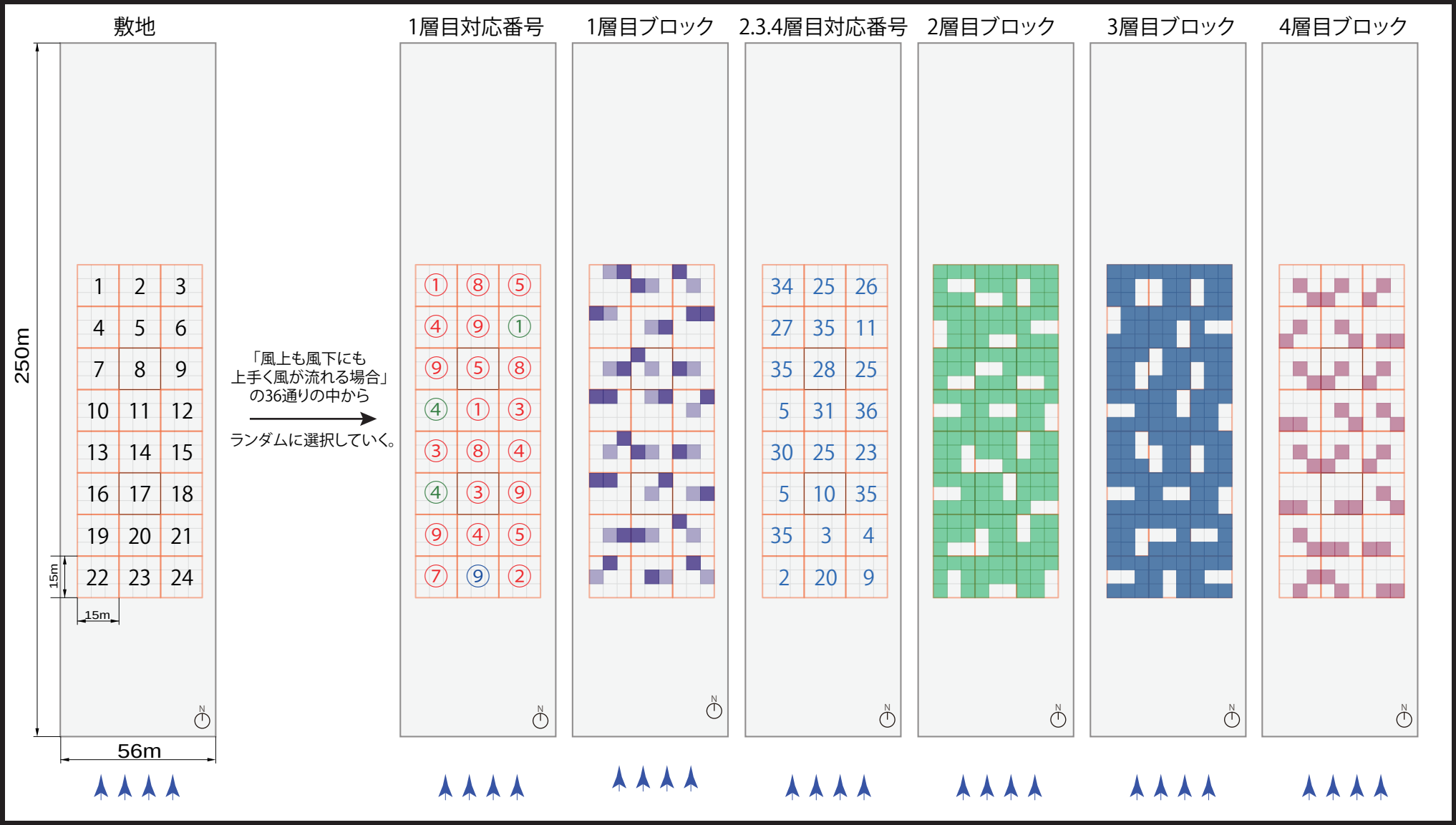
↓

Build Live Chiba の敷地の大きさまで更に連結する。

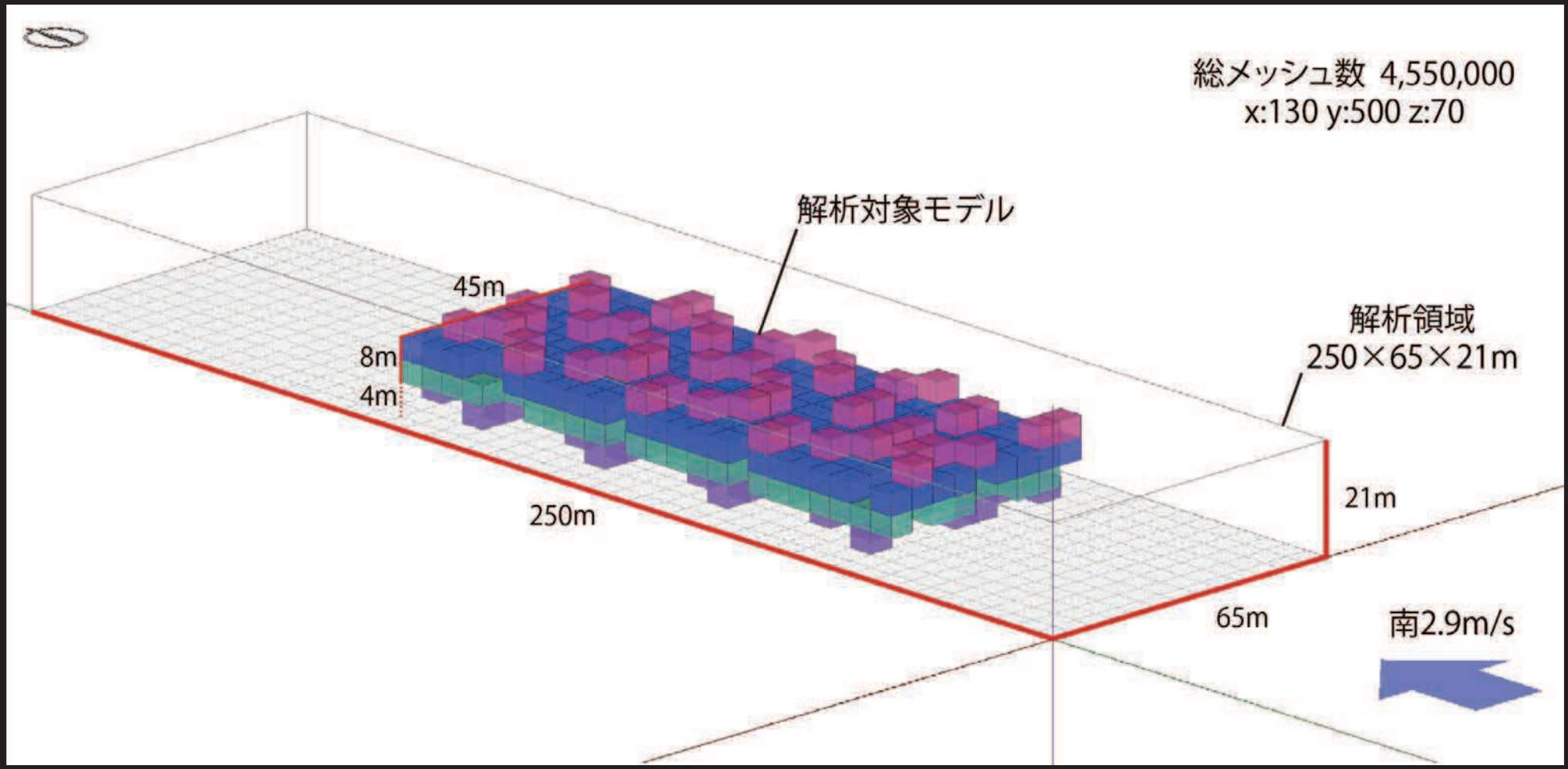
PDF Compressor Pro

実験 5

最終連結ユニット (3×8 ユニット)　室内通風快適性の確認

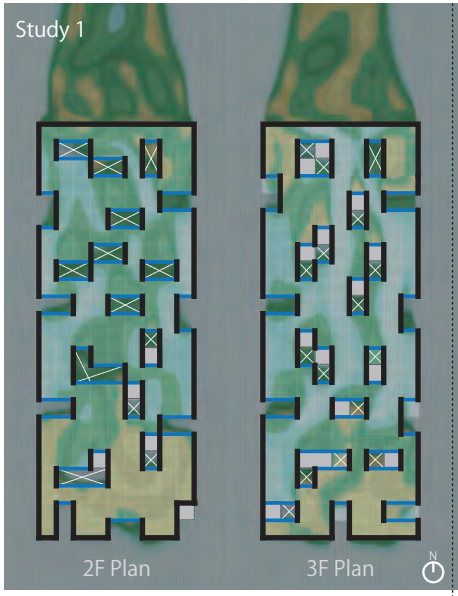


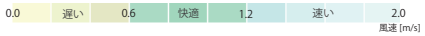
PDF Compressor Pro



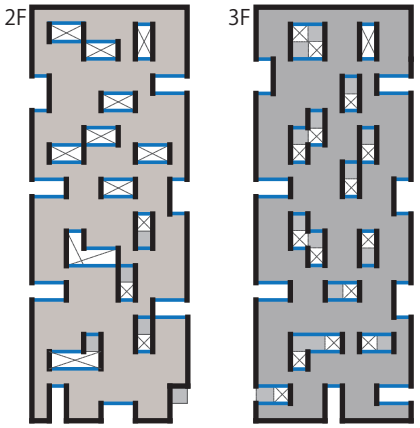
PDF Compressor Pro

Study 1

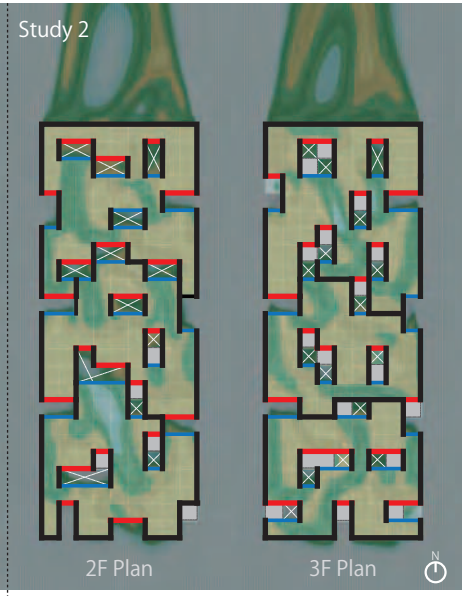


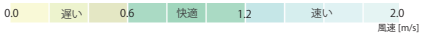


フロアは室内に間仕切り無く一続きで、Void に面した壁のうち、南北の面に開口率 50% の窓、東西の面に構造壁を設定した。室内を水色の速い風速域が広がっていて、通風性は確保できている。

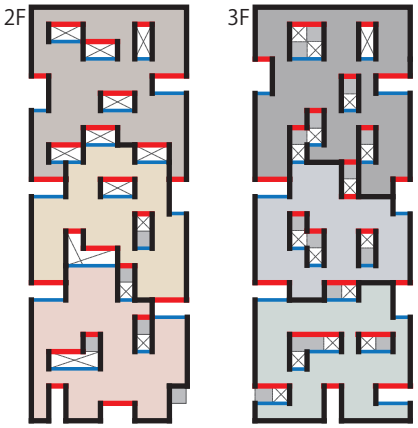


Study 2

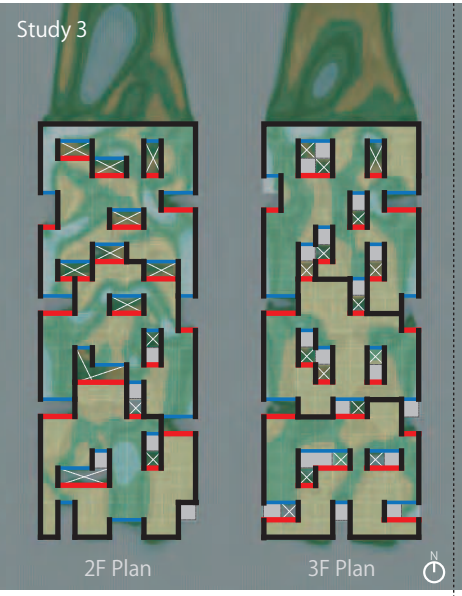




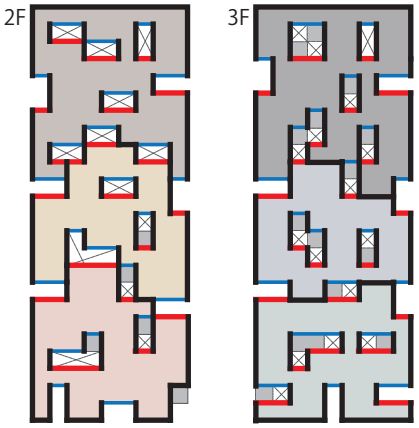
1 フロアを 3 つの空間に分け、2 層 3 層あわせて 1 つの会社のオフィスとし垂直方向にまとめることでセキュリティを確保すると同時に、各オフィス専用の Void から風を取り込む事が出来る。Void 内の南面のみを開口部として開口率 50% とした。通風性能が低く、快適域も少ない。



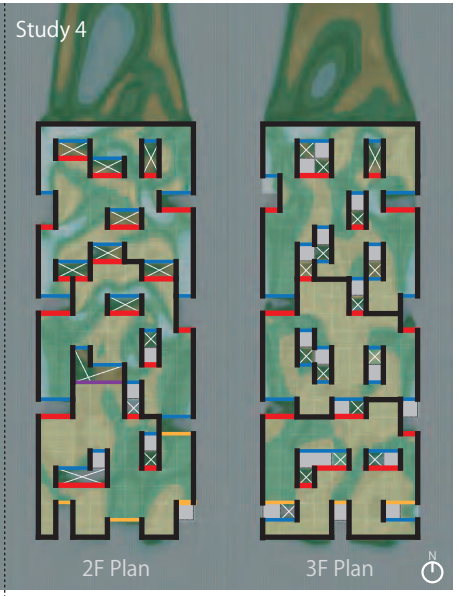
Study 3

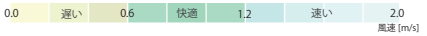


同じフロア構成のまま、Void 内の北面のみを開口部に変えた。前段階よりも快適域が広がったが、風のムラが多い。方角や風向などに影響なく、各オフィスの通風性能に優劣の出ないよう快適な風速域も広げることを目標に窓の開口率の微調整を行う。

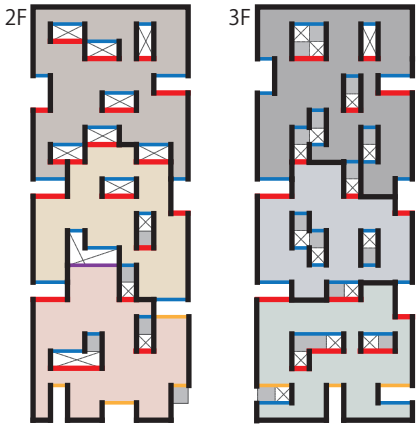


Study 4

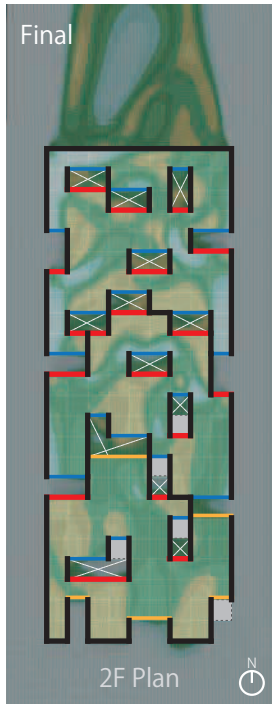


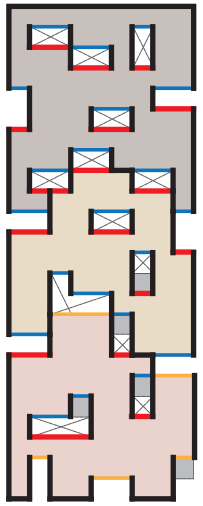


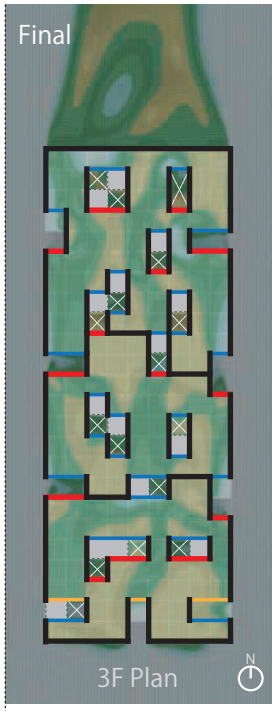
通風性能のあまり良くない一番風上側のオフィスの壁に開口率 20% の窓を設けたり、風の抜け道をつくるために新たに開口率 10% の窓を設けたりと、ムラを解消するよう各フロアの窓の微調整を行う。全段階よりも快適域が広がっている。

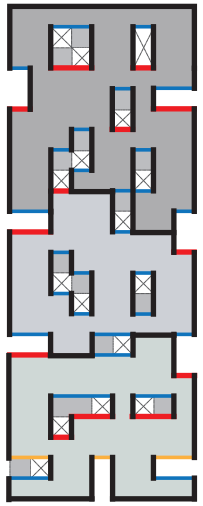


PDF Compressor Pro









壁　開口率 50%　開口率 0%　開口率 25%

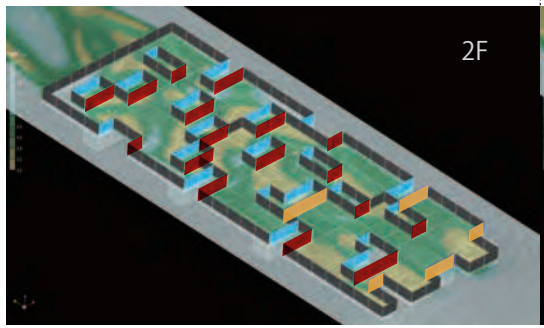
最終調整である。

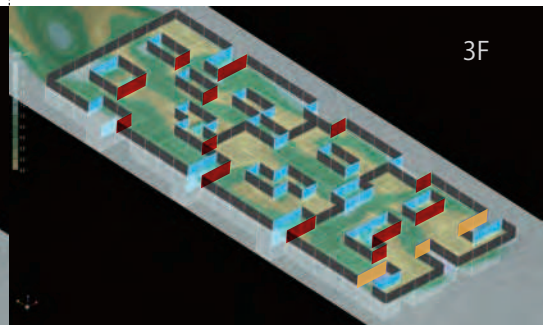
開口率 10% の窓を 25% まで上げたり、閉じていた窓を開口率 50% の窓にしたりといった微調整を再度行った。

壁　開口率 50%　開口率 0%　開口率 25%

最終調整である。

3F も 2F と同様に、開口の微調整を行って完成。どちらのフロアも緑色の快適域が全体に広がった。





PDF Compressor Pro

実験 5 考察　最終連結ユニット (3×8 ユニット)　室内通風快適性の確認

ほとんど微調整の操作を 5 回という少ない回数で行えたことは、本実験の手法の有効性を示しているといえる。

また、違う形状をした単体ユニットが 24 個集まったことで、通風性能を確保しながら、空間的な多様性を両立できたといえる。

また、南北連結のルールを守ればユニットを置き換えることもでき、プランニングや構造性能などの他の設計条件を考慮しながら、室内に通風性能を確保できる手法といえる。

PDF Compressor Pro

結論

問題解決型気流解析手法を用いて、４つの問題に対応できた。

①「広域モデルを用いた気流解析の非効率性」

小規模で限定した範囲での解析を繰り返す事で、効率性が上がったと同時に、短時間でたくさんの解析結果を得て比較できたことで現象も的確に理解できた。

②「他の設計条件との両立性」

小規模での解析の繰り返しから生まれた、良好な通風環境を持つ部分モデルを組み合わせるボトムアップ式の設計を用い、且つ評価基準にゆるさを設けたことで、良好な通風環境を持つユニットを多数得ることが出来た。よってプランニングや構造性能など他の設計条件にも柔軟に対応しうる設計の自由度を高めた手法となった。

PDF Compressor Pro

結論

問題解決型気流解析手法を用いて、４つの問題に対応できた。

③「組合せ爆発問題」

組合わせ爆発が起きた際も、問題解決型によって適切なパターンのみに絞込み、最低限の解析のみを行うことを繰り返す事で解決できた。

④「要因発見の困難性」

問題解決型を用いて、現象と形態の関係をひとつずつ明快にすることができたことで、多様な空間を持ち合わせた状態でも部分で得た通風性能を保持できた。

PDF Compressor Pro

結論

Best をひとつ選択するのでは無く、
Better なものを複数得るよう、評価基準をゆるめたことで、
設計上の選択肢を増やした状態を提供できる手法であるといえる。

形状が異なる部分ユニット同士を良好な通風性を確保したまま
連結していけるルールを導けたことによって、
空間的な多様性にも対応可能な手法であることが明らかとなった。

PDF Compressor Pro

考察

デザイナーへの学習効果の促進が挙げられる。
気流現象と空間の関係を Try&Error を繰り返しながら、設計へフィードバックする為の手法。つまり空間の気流現象を理解していく過程で、デザイナーの発見的な発想を広げる事にも貢献できると考えられる。

そこでしか体験できないと思われてきた快適な気流体験を、
気流解析によって事前に狙いすまして設計できる。

新たな建築の価値観が生まれると共に、
人間にとってより快適な建築が増えることにも寄与する手法である。

PDF Compressor Pro

以上