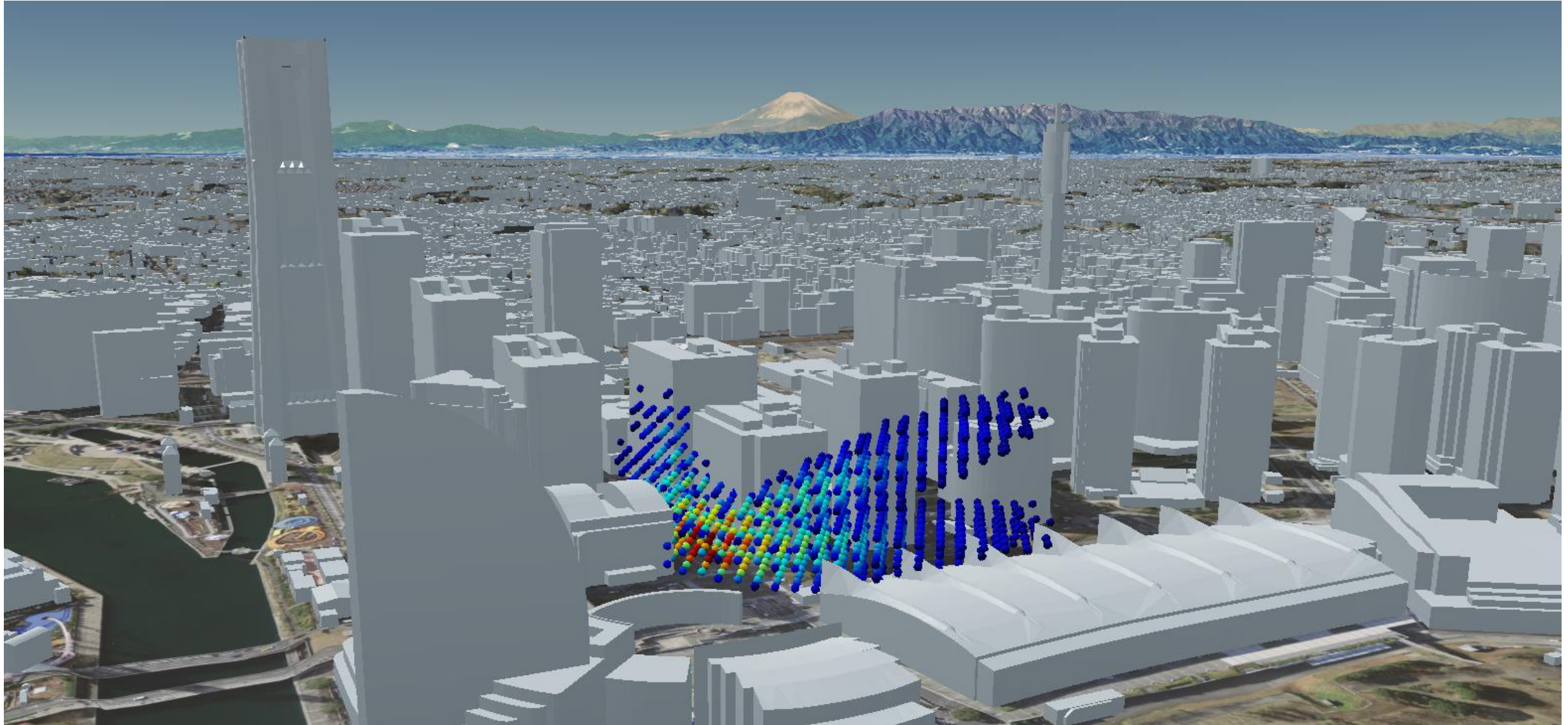


ローカル5G 電波シミュレーションを活かした基地局配置計画 技術検証レポート

Base station location planning using private 5G radio wave simulation



PLATEAU
by MLIT





| | | | |
|----------------------|------------|---------------|----|
| I. 実証概要 | 2 | | |
| 1. 全体概要 | 3 | | |
| 2. 実施体制 | 5 | | |
| 3. 実証エリア | 6 | | |
| 4. スケジュール | 7 | | |
| II. 実証技術の概要 | 8 | | |
| 1. 活用技術 | 9 | | |
| 2. Altair WinProp | 10 | | |
| 3. CityGMLファイル変換 | 16 | | |
| 4. Altair HyperStudy | 18 | | |
| III. 実証システム | 19 | | |
| 1. 実証フロー | 20 | | |
| 2. 業務要件 | 21 | | |
| 3. アーキテクチャ全体図 | 22 | | |
| 4. システム機能 | 24 | | |
| 5. アルゴリズム | 25 | | |
| 6. データ | 30 | | |
| ① 活用データ | 30 | | |
| ② データ処理 | 37 | | |
| | | ③ 出力データ | 43 |
| | | 7. ユーザインタフェース | 46 |
| | | 8. システムテスト結果 | 78 |
| IV. 実証技術の検証 | 79 | | |
| 1. システム検証 | 80 | | |
| ① 検証内容 | 80 | | |
| ② 検証結果 | 86 | | |
| 2. 政策活用に向けた検証 | 108 | | |
| ① 検証内容 | 108 | | |
| ② 検証結果 | 116 | | |
| V. 成果と課題 | 118 | | |
| 1. 今年度の実証で得られた成果 | 119 | | |
| ① 3D都市モデルによる技術面での優位性 | 119 | | |
| ② 3D都市モデルによる政策面での優位性 | 120 | | |
| 2. 今後の取り組みに向けた課題 | 121 | | |
| 用語集 | 122 | | |

I. 実証概要

II. 実証技術の概要

III. 実証システム

IV. 実証技術の検証

V. 成果と課題

I. 実証概要 > 1. 全体概要

全体概要 (1/2)

| | |
|------------------------|---|
| ユースケース名 | ローカル5G電波シミュレーションを活かした基地局配置計画 |
| 実施場所 | 神奈川県 横浜市 みなとみらい21地区 |
| 目標・課題 ・創出価値 | <p>ローカル5Gネットワークの整備・活用促進し、5Gの早期ネットワーク化による活用実証実験、ユースケースの創出支援などを実現できるような先進的な街づくりを目指すには、エリア全体を的確に5Gの電波を行き渡らせる基地局配置を計画することが求められる。しかし、5Gは高速大容量の通信が可能な一方、電波の届く範囲は狭く、直進性が高いので建物等障害物の影響を受けやすく、エリア全体を的確に5Gの電波を行き渡らせる基地局配置を計画することが困難という課題がある。</p> <p>ローカル5Gを活用するためにはサービスエリアをカバーする基地局配置が重要となり、エリア範囲の狭さや干渉の問題等を踏まえた配置を最適化する手法が求められている。</p> |
| ユースケース の概要 | 当ユースケースでは3D都市モデルと電波伝搬シミュレーションを活用した基地局配置の妥当性を検証するシステムを開発し、簡易かつ効率的にローカル5G基地局の配置計画を立案することを実現することで、5Gの早期ネットワーク化による先進的な街づくりを推進する。 |

I. 実証概要 > 1. 全体概要

全体概要 (2/2)

| | |
|---------------|--|
| 実証仮説 | 電波伝搬シミュレーションにおける3D都市モデルの活用可能性の検証 <ul style="list-style-type: none">カバーエリア想定と3D都市モデルを活用した精緻なシミュレーション結果を比較・対照し検証を行うことで、基地局設置プランニングや5G活用実証参加企業への情報提供等を行うことができるのではないか。 |
| 検証ポイント | <ol style="list-style-type: none">1. 予想受信電力（シミュレーション結果）の精度を検証する。2. 3D都市モデルを活用した電波伝搬シミュレーションを用いた、基地局最適配置手法の組み立て、有効性について検証する。 |

I. 実証概要 > 2. 実施体制 実施体制

表 各主体の役割

| 主体 | 役割 |
|---------------------------|--|
| 株式会社 三菱総合研究所 (MRI) | プロジェクトマネジメント ・ユースケース実証に係る連絡・調整。 |
| 一般社団法人 横浜みなとみらい21(YMM21) | ユースケース実証 ・ユースケース創出についての事業構築、電波計測に関するマネジメント、本実証についての公聴会実施。 |
| アルテアエンジニアリング 株式会社(Altair) | ユースケース実証 ・プロジェクト管理、電波伝搬シミュレーション実施。 |
| 任意団体 横浜未来機構 | フィールド提供 ・電波計測環境の提供。 |
| 株式会社JTOWER | データ提供 ・基地局データの提供。 |
| 株式会社ドコモビジネスソリューションズ | データ提供・電波計測 ・基地局データの提供。 ・移動基地局車の提供。 ・電波計測の実施。 |

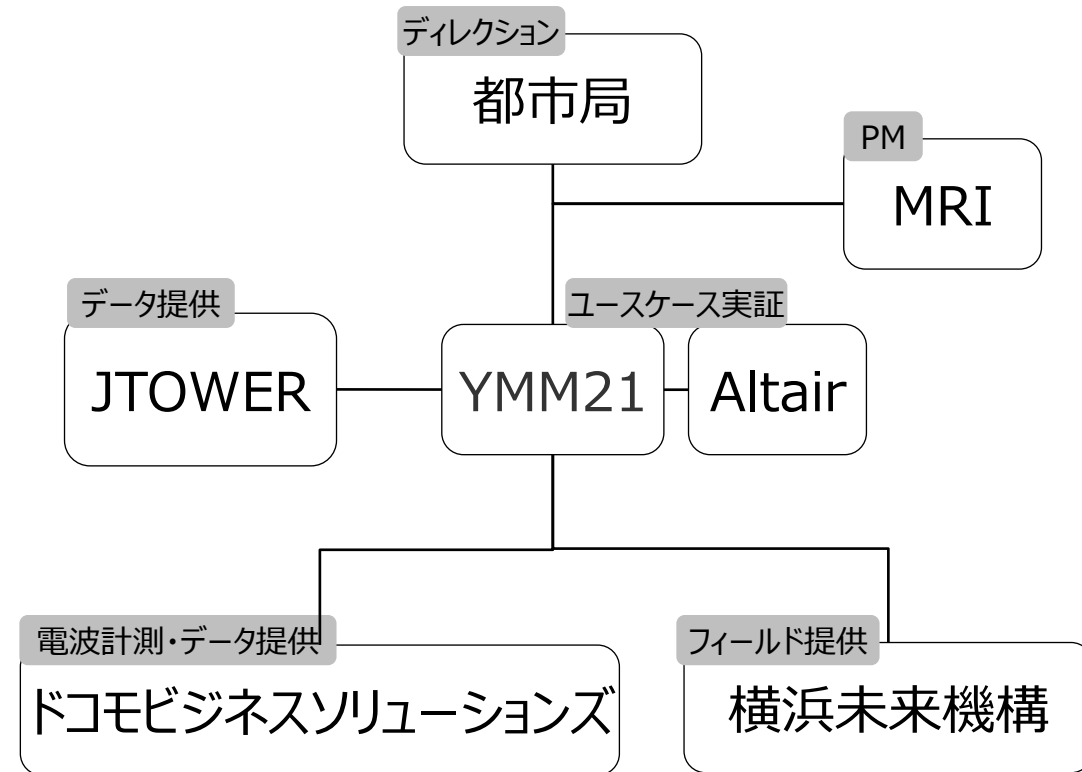


図 実施体制図

I. 実証概要 > 3. 実証エリア 実証エリア

神奈川県 横浜市 みなとみらい21地区
対象エリア面積 1.86km²



図 対象エリア：上図の1~68街区※1



図 みなとみらい21地区写真※2

※1 出所) 横浜市「みなとみらい21地区全体図」(最終更新日 2022年3月30日)

URL: <https://www.city.yokohama.lg.jp/kurashi/machizukuri-kankyo/toshiseibi/mm21/mmkaiatsu/gaiku.html> (最終更新日 2019年03月5日)

※2 出所) 一般社団法人横浜みなとみらい21「法人概要」内の写真

URL: <https://www.city.yokohama.lg.jp/kurashi/machizukuri-kankyo/toshiseibi/mm21/mmkaiatsu/gaiku.html> (最終更新日 2016年2月29日)

I. 実証概要 > 4. スケジュール スケジュール

| 実施事項 | | 令和4年 | | | | | | | | | | 令和5年 | | |
|-----------|---------------------------------|------|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|------|----|----|
| | | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 |
| 実施計画書作成 | 実施計画書（案）の作成 | ■ | ■ | | | | | | | | | | | |
| | 実施計画書の完成・確定 | | | ■ | | | | | | | | | | |
| データ取得 | 3D都市モデルの整備内容検討・調整 | | ■ | | | | | | | | | | | |
| | 基地局データの収集・整備・検討 | | | ■ | | | | | | | | | | |
| ユースケース開発 | 3D都市モデルからシミュレーションモデルへの変換 | | ■ | | | | | | | | | | | |
| | 想定されている5G基地局配置でのシミュレーション実施 | | | | ■ | | | | | | | | | |
| | 5G基地局設置プランの検討および、それらのシミュレーション実施 | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| | 5Gユースケース創出のための電波伝搬状況可視化実施 | | | | | | | | ■ | | | | | |
| | 電波強度分布の計測とシミュレーションとの結果比較 | | | | | | | | | ■ | | | | |
| | 5Gについての勉強会 | | | | ■ | | | | | | | | | |
| | 3D都市モデルを活用した電波伝搬シミュレーションの勉強会 | | | | | | | | | | ■ | | | |
| 事業成果とりまとめ | 事業成果報告書の作成 | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | |
| | 横浜未来機構会員企業(ユーザー企業)に実証実験の成果発表 | | | | | | | | | | ■ | | | |

I. 実証概要

II. 実証技術の概要

III. 実証システム

IV. 実証技術の検証

V. 成果と課題

II. 実証技術の概要 > 1. 活用技術 活用技術 | 一覧

| 活用技術 | 内容 |
|-------------------|--|
| Altair WinProp | 電波伝搬シミュレーションソフトウェア。 |
| CityGMLファイル変換 | 本実証ではCityGMLをアルテアエンジニアリング社が開発中のCityGML変換ツールの一部機能を利用し、STL (Stereolithography) データに変換しシミュレーションに利用する。 |
| Altair HyperStudy | 製品の性能とロバスト性の調査および最適化を可能にする確率統計ソフトウェア。基地局配置の最適化に利用する。 |

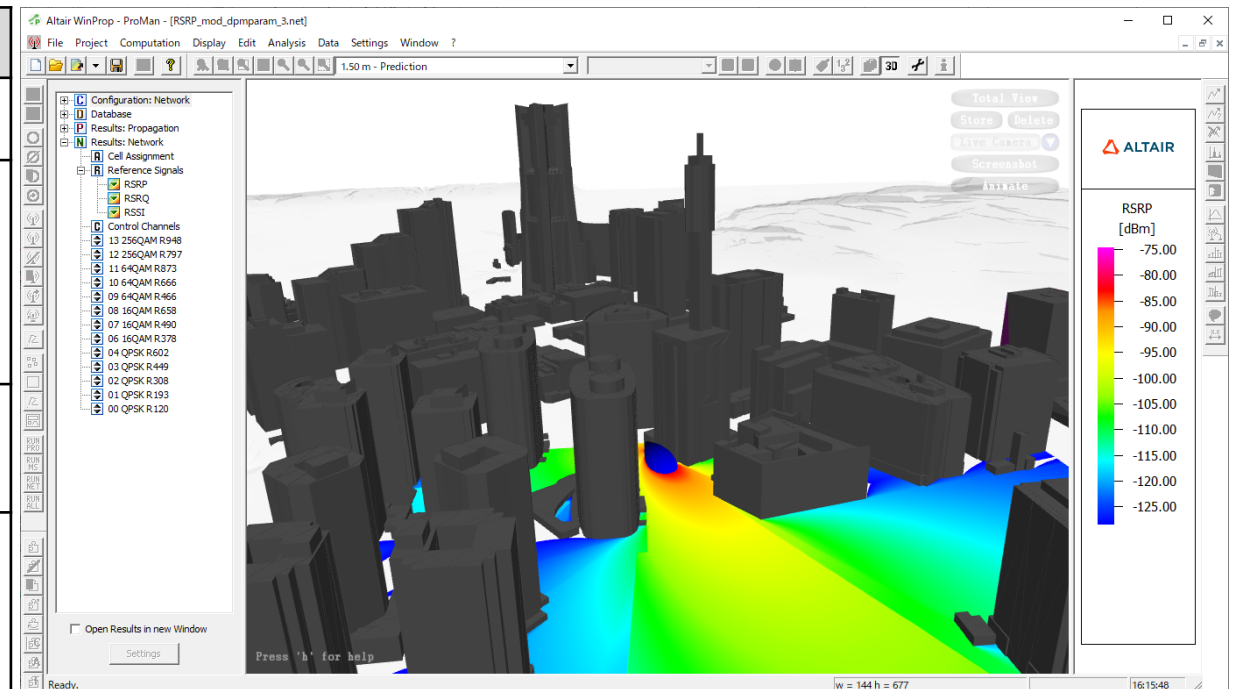
Ⅱ. 実証技術の概要 > 2. Altair WinProp

Altair WinPropの概要

概要

| 項目 | 内容 |
|--------|---|
| 名称 | Altair WinProp |
| 概要 | <ul style="list-style-type: none"> 20年以上の歴史を持つ、業界を代表する高周波電界シミュレーションソフトウェアであるAltair Fekoに実装されている電波伝搬シミュレーションソフトウェア。 |
| 主な機能 | <ul style="list-style-type: none"> 電波伝搬シミュレーション。 |
| 利用する機能 | <ul style="list-style-type: none"> ベクトルデータベース用のグラフィカルエディター。(Altair WinProp WallMan) シミュレーションの設定、電波伝搬シミュレート、結果表示。(Altair WinProp ProMan) |

Altair WinProp



II. 実証技術の概要 > 2. Altair WinProp

Altair WinPropの概要

電波の広がりを求める手法の概要

- 電波の広がりを求める手法としては大きく分類して、電界と磁界の性質を表しているMaxwell方程式※1に基づく数値計算を実施する手法（ここではこれを電磁界解析と呼ぶ）と、電波伝搬モデルに基づく数値計算を実施する手法(ここではこれを電波伝搬解析と呼ぶ)が存在する。通常電磁界解析は電波伝搬解析に比べ高精度ではあるが、高周波数領域になるに従い計算負荷が増大する傾向にあり、一方で電波伝搬解析においては高周波領域になるに従い、電波の伝わり方を光線のように近似する手法が成り立ちやすくなることから、特に広い領域での電波の広がりを求める手法として用いられている。
- 電波伝搬解析で利用される電波伝搬モデルには、経験的モデル、レイトレーシングモデルなどが存在する。経験的モデルは計算時間が短い反面、精度がレイトレーシングモデルに劣り※2、レイトレーシングモデルはその逆で、精度が高い反面、計算時間が増大する傾向にある。※3
- アルテアエンジニアリング社が提供するAltair Fekoは、高周波電磁界解析と電波伝搬解析を提供するソフトウェアパッケージで、電波伝搬解析機能として実装されているAltair WinPropでは、レイトレーシングモデルと経験的モデルの双方の利点を有するドミナントパスモデルと呼ばれる伝搬モデルを利用することができる。これにより短時間に高精度な電波伝搬シミュレーションを実施することが可能となる。この実証では「ドミナントパスモデル」を用いてシミュレーションを実施する。

表 電波の広がりを求める手法の比較

凡例：
 計算精度：良い◎ → ○ → △ → ×悪い
 計算負荷：低い◎ → ○ → △ → ×高い

| 項目 | 電磁界解析 | 電波伝搬解析 | | |
|------|-------|--------|-------------|------------|
| | | 経験的モデル | レイトレーシングモデル | ドミナントパスモデル |
| 計算精度 | ◎ | △ | ○ | ○ |
| 計算負荷 | × | ◎ | △ | ○ |

※1 出典) Maxwell, James Clerk. "VIII. A dynamical theory of the electromagnetic field." *Philosophical transactions of the Royal Society of London* 155 (1865): 459-512.

URL:<https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rstl.1865.0008>

※2 出典) Keenan, Janice M., and Andrew J. Motley. "Radio coverage in buildings." *British telecom technology Journal* 8.1 (1990): 19-24.

※3 出典) Huschka, Thomas. "Ray tracing models for indoor environments and their computational complexity." *5th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Wireless Networks-Catching the Mobile Future.. Vol. 2. IEEE, 1994.*

Ⅱ. 実証技術の概要 > 2. Altair WinProp

Altair WinPropの概要

電波伝搬シミュレーションシナリオについて

- Altair WinPropは、電波伝搬および無線ネットワーク計画におけるシミュレーションソフトウェアである。衛星からの電波や、農村部、都市部、屋内の電波環境の検証まで、広い適用範囲を持ち、電波の広がりを予測したいエリアの大きさ、地物や構造物の詳細度、適用する電波伝搬モデルに合わせたシミュレーションシナリオを選択することで短い計算時間で高い計算精度を実現することが可能である。
- 各シナリオの説明については次頁に記載した。

表 各シナリオの伝搬の比較※1

| | Ruralシナリオ | Urbanシナリオ | Indoorシナリオ |
|--------------|---|---|--|
| 必須データ | 地形データ | 2.5次元建物データ | 3次元任意形状データ |
| オプションデータ | 土地利用データ | 材料特性(透過、反射での損失) 地形データ 植生オブジェクト | 材料特性(透過、反射での損失) 地形データ |
| 伝搬モデル | ドミナントパスモデル、 経験的モデル(Hata, ITU, …)、 垂直平面モデル、 3D標準レイトレーシング(SRT) | ドミナントパスモデル、 垂直平面モデル(WI)、 3Dインテリジェントレイトレーシング (IRT) | ドミナントパスモデル、 ダイレクトレイモデル(Multi-Wall)、 3DレイトレーシングSRT/IRT |
| サンプル イメージ |  Rural Propagation |  Urban Propagation |  Indoor Propagation |

※1 出所) Altair WinPropを用いた5Gの無線カバレッジ計画 URL:<https://www.ipros.jp/product/detail/2000619240/>, <https://www.altairjp.co.jp/resource/5g-winprop-coverage-ppt>

Ⅱ. 実証技術の概要 > 2. Altair WinProp Altair WinPropの概要

電波伝搬シミュレーションシナリオについて

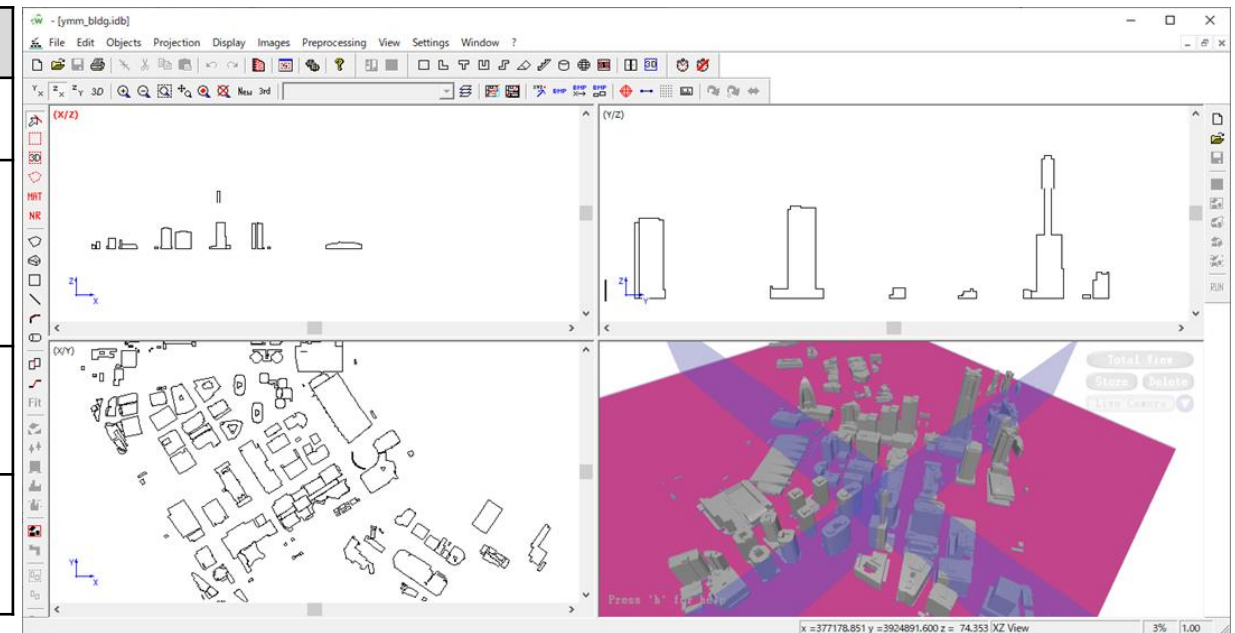
- Ruralシナリオでは、地形データを利用した電波伝搬シミュレーションを実施する。地形データのほかに、土地利用の情報を適用することも可能である。Ruralシナリオでは建物などの構造物をシミュレーションで考慮しないため、計算が高速で実施できることから、広い領域の電波伝搬シミュレーションを実施する際に用いられる。一方で建物などの情報を含めないことから、それらの影響が大きく出る箇所での計算精度は悪くなる。
- Urbanシナリオでは、都市全体を含むスケールで電波伝搬シミュレーションを実施する。シミュレーションに含まれる建物の形状は、地上から平面を押し出した形状に制限されるため、任意の3D形状を取り扱うことはできない。Urbanシナリオでは押し出し形状の建物データのほかに、地形データも利用することができ、Ruralシナリオよりも詳細なシミュレーションを実施することができるが、シミュレーションの計算時間はRuralシナリオよりも長くなる。
- Indoorシナリオでは、外壁、窓、内壁、ドア、地形その他関連するものなど、最も詳細な形状記述が可能である。家具や人を形状としてシミュレーションに含めることもできるが、領域を指定してそこに減衰を発生させる材料特性を割り当てて定義することもできる。Indoorシナリオは建物だけではなく、航空機内のWiFiカバレッジもIndoorシナリオでシミュレーション可能である。ほかにも形状が複雑なものや、任意の3D形状を含めたシミュレーションを実施したいときにIndoorシナリオを利用する。これによりRuralシナリオ、Urbanシナリオよりもさらに高精度なシミュレーションが可能であるが、シミュレーションの計算時間は最も長くなる。
- それぞれのシナリオは準備できるデータの種類の種類、シミュレーションしたい領域の広さなどから選択するが、シナリオの選択に明確な基準はなく、当実証のようなUrbanシナリオが利用されることが多い都市部のシミュレーションであっても、3D都市モデルのような詳細なデータの利点を生かしたいときなどはIndoorシナリオで実施することが適切である。そこで、当実証では3D都市モデルの形状を再現するためにIndoorシナリオを適用する。

Ⅱ. 実証技術の概要 > 2. Altair WinProp Altair WinProp WallManの概要

概要

| 項目 | 内容 |
|--------|--|
| 名称 | Altair WinProp WallMan |
| 概要 | <ul style="list-style-type: none">次頁で説明するProManプロジェクトに組み込むことが可能なベクトルデータベースの準備に使用される。 |
| 主な機能 | <ul style="list-style-type: none">ベクトルデータベース用のグラフィカルエディター |
| 利用する機能 | <ul style="list-style-type: none">建物データベース作成地形データベース作成 |

Altair WinProp WallMan

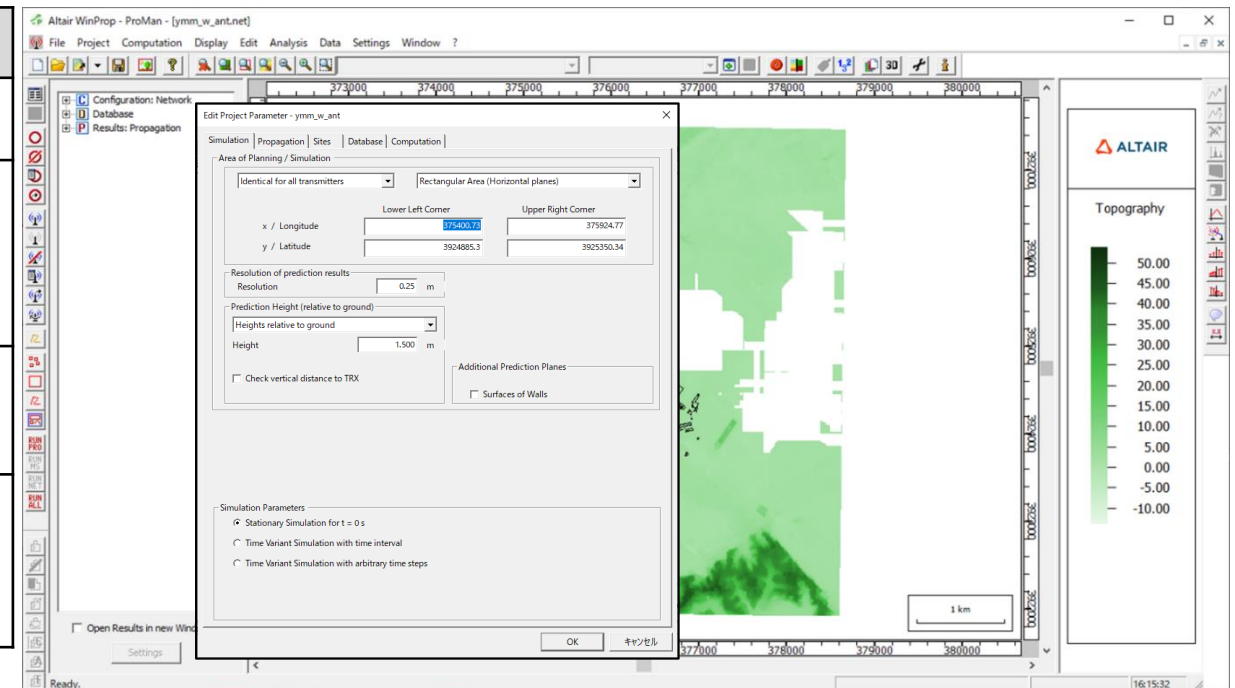


Ⅱ. 実証技術の概要 > 2. Altair WinProp Altair WinProp ProManの概要

概要

| 項目 | 内容 |
|--------|---|
| 名称 | Altair WinProp ProMan |
| 概要 | <ul style="list-style-type: none"> 電波伝搬シミュレーションの設定、計算実行、可視化などをおこなう。 |
| 主な機能 | <ul style="list-style-type: none"> 電波伝搬シミュレーションプロジェクト管理 |
| 利用する機能 | <ul style="list-style-type: none"> 基地局の設定 出力項目設定 電波伝搬モデル設定など |

Altair WinProp ProMan



II. 実証技術の概要 > 3. CityGMLファイル変換 CityGMLファイル変換の概要

概要

CityGMLファイル変換

| 項目 | 内容 |
|--------|--|
| 名称 | CityGMLファイル変換 |
| 概要 | <ul style="list-style-type: none"> CityGMLをアルテアエンジニアリング社が開発中のCityGML変換ツールの一部機能を利用し、STL (Stereolithography) データに変換及び、編集しシミュレーションに利用する。 |
| 主な機能 | <ul style="list-style-type: none"> 座標変換 ポリゴン形式(STL)への変換 形状編集 |
| 利用する機能 | <ul style="list-style-type: none"> 同上 |

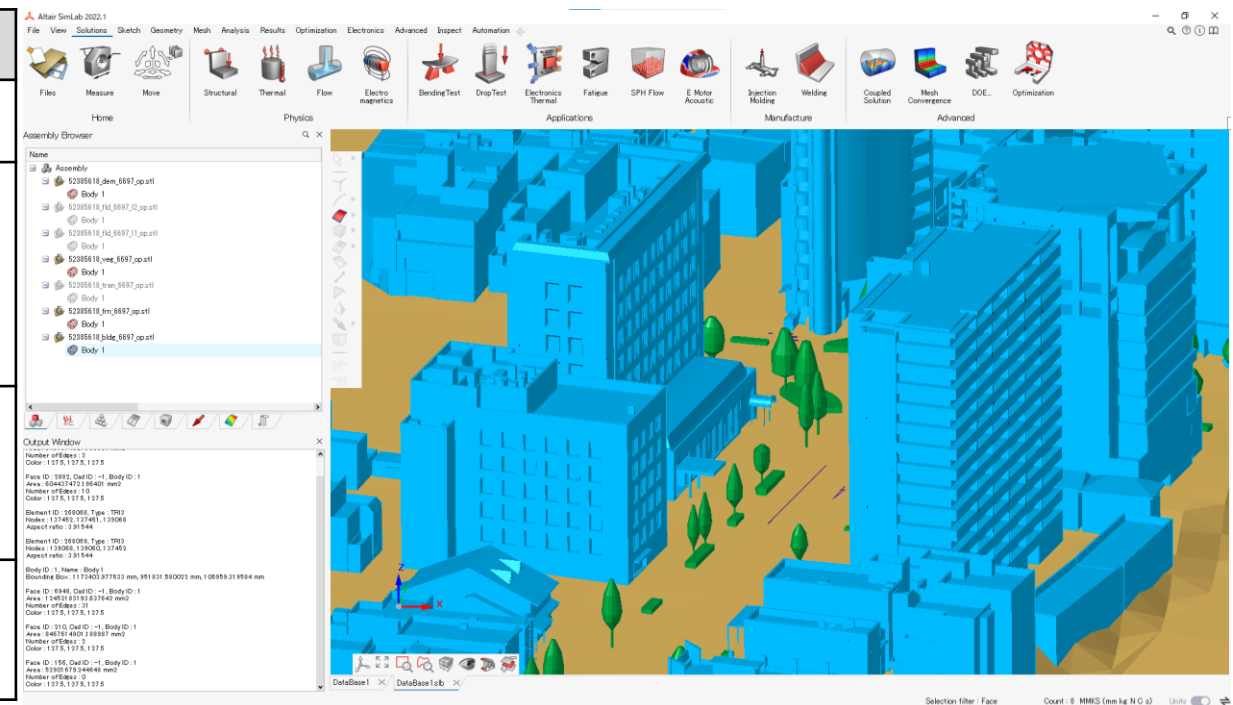


図 3D都市モデルをSTLファイルに変換後に読み込んだ様子

Ⅱ. 実証技術の概要 > 3. CityGMLファイル変換 CityGMLファイル変換の概要

補足説明

- 本実証ではCityGMLをアルテアエンジニアリング社が開発中のCityGML変換ツールの一部機能を利用し、STL（Stereolithography）データに変換しシミュレーションに利用する。
- その際、STLデータの編集を行う必要がある場合アルテアエンジニアリング社が提供するAltair SimLab(以降SimLabと記載)を利用しSTLデータの編集を実施する。
- SimLabではSTLデータの読み込み、形状の編集、編集後データのSTLデータへの書き出し作業などが可能である。
- 本実証ではSimLabを利用して、対象地域以外の建物のデータを削除したSTLデータを出力し、電波伝搬シミュレーションに利用する。

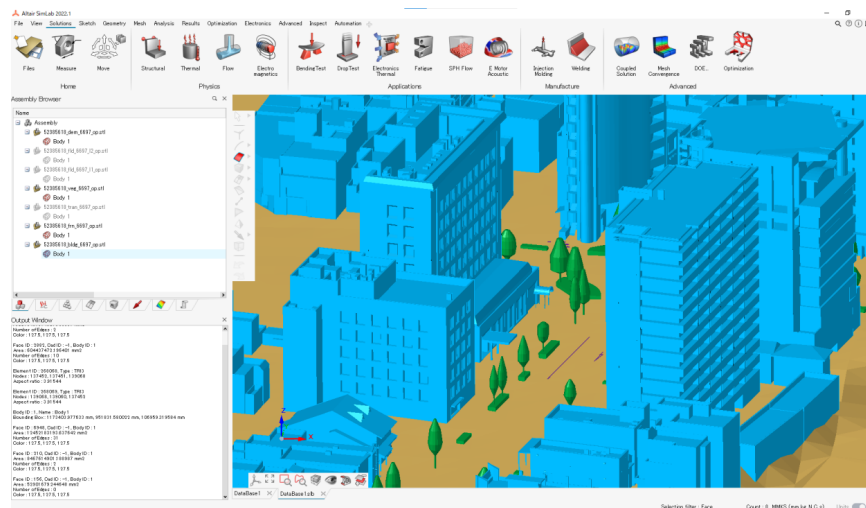


図 3D都市モデルのSTLファイルを読み込んだ様子

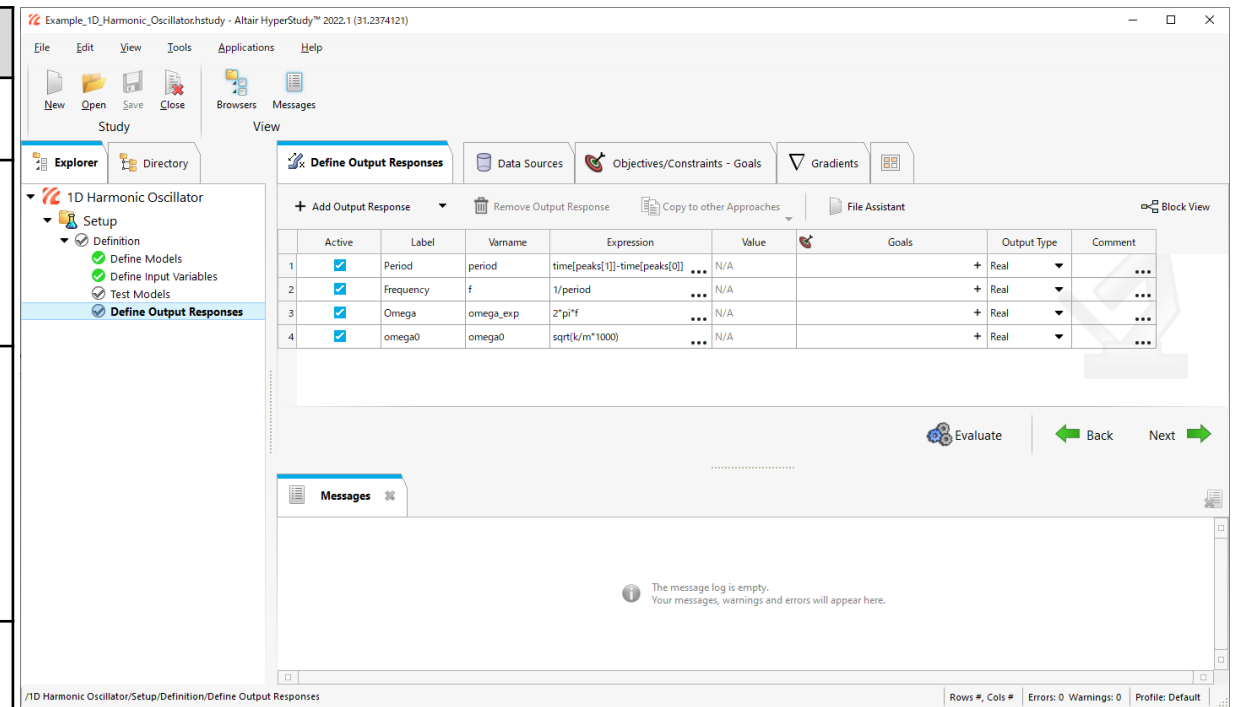
Ⅱ. 実証技術の概要 > 4. Altair HyperStudy

Altair HyperStudyの概要

概要

Altair HyperStudy

| 項目 | 内容 |
|--------|--|
| 名称 | Altair HyperStudy |
| 概要 | <ul style="list-style-type: none"> 製品の性能とロバスト性の調査および最適化を可能にする確率統計ソフトウェア※1 |
| 主な機能 | <ul style="list-style-type: none"> 実験計画法(結果の要因を解析する手法) 最適化(目的を達成するための設計変数探索) 自動データ生成(解析結果の自動抽出) 予測モデリング(実験計画法などから得られた結果を基に予測をおこなうモデルを生成) |
| 利用する機能 | <ul style="list-style-type: none"> 最適化 |



※1 出典) Altair HyperStudy紹介ページ
 URL: <https://www.altairjp.co.jp/hyperstudy>

I. 実証概要

II. 実証技術の概要

III. 実証システム

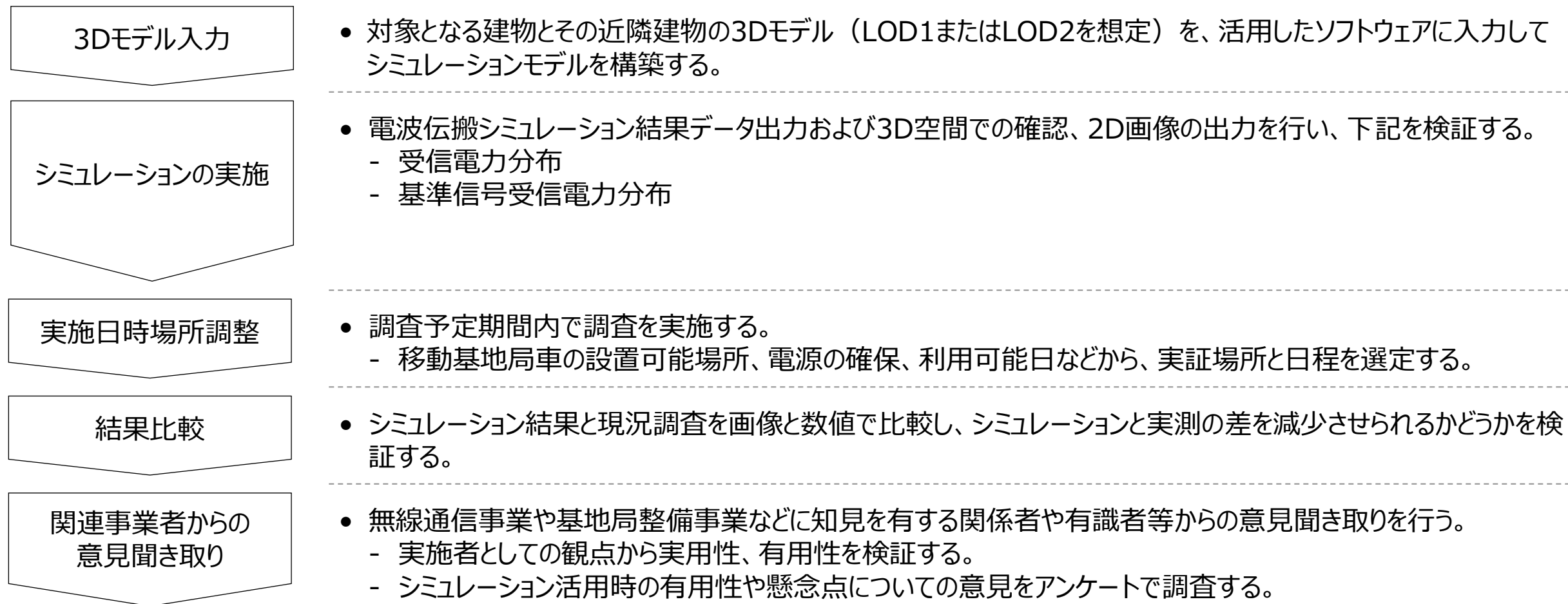
IV. 実証技術の検証

V. 成果と課題

Ⅲ. 実証システム > 1. 実証フロー

実証フロー

実証実験では3Dモデルの作成・シミュレーションを実施した後に実測調査と結果を比較し、シミュレーションの有用性を関連事業者にヒアリングを行う。

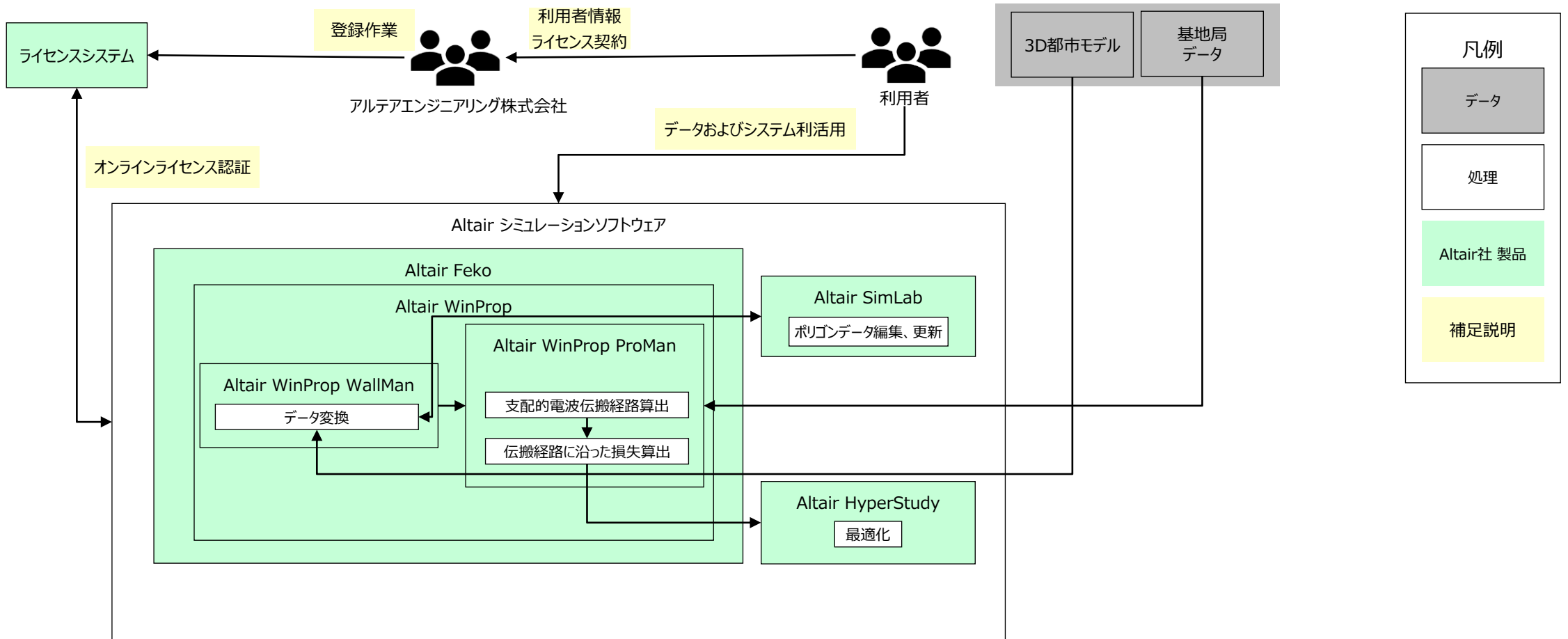


Ⅲ. 実証システム > 2. 業務要件 業務要件

| 項目 | 内容 |
|--------------|--|
| 電波伝搬シミュレーション | 既存の基地局配置、もしくは計画された基地局配置においてローカル5Gのサービスエリアを可視化することができる。これによりローカル5Gサービス開始前に電波の届かない場所や、ローカル5Gサービスの提供できる範囲を予想することができ、利用者向けにローカル5Gサービス提供可能エリアを明示することが可能となる。 |
| 基地局配置の最適化 | 基地局配置箇所が決まっていない状況で、サービスを提供したいエリアが決まっているような場合、どこに基地局を配置すれば、指定したエリアで電波の届かない箇所が発生しないようにサービスエリアを構築できるかを検討することが可能となる。 |

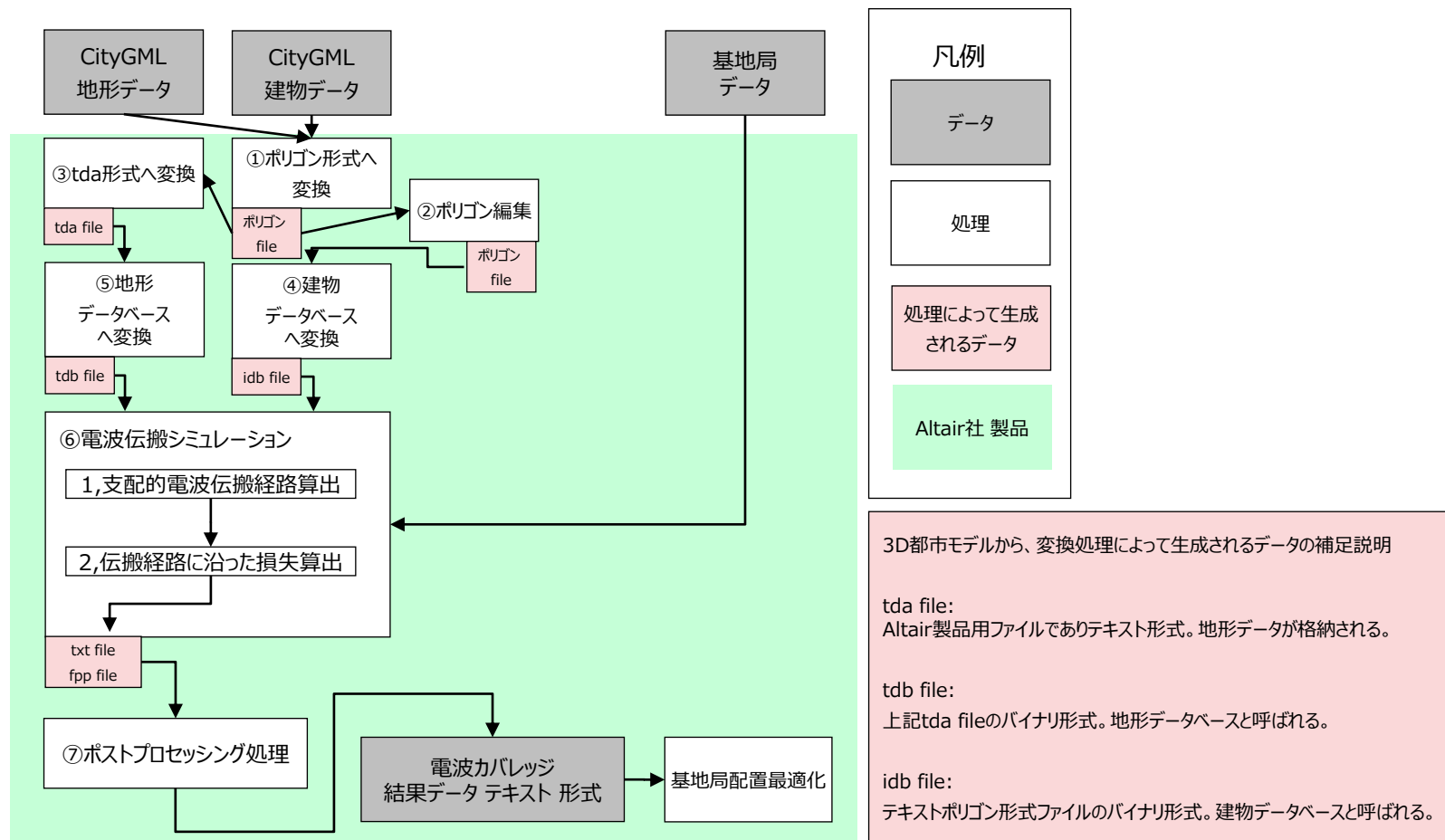
Ⅲ. 実証システム > 3. アーキテクチャ全体図

システムアーキテクチャ全体図



Ⅲ. 実証システム > 3. アーキテクチャ全体図

データアーキテクチャ全体図



Ⅲ. 実証システム > 4. システム機能

システム機能

| 機能名 | 説明 |
|------------------------|---|
| Altair社製CityGML変換プログラム | CityGMLを入力することで建物形状、地形形状を抽出し、WinProp WallManへ入力できる形式（ポリゴン形式）への変換を行う。その際、変換先の座標系をUTMゾーンで指定することができる。アルテア製品へ実装される機能を利用する。7. ユーザインタフェース 2) WinProp WallMan:電波伝搬シミュレーション用のデータベース作成、編集ツールにて補足説明を記載した。 |
| Altair WinProp WallMan | Altair WinProp ProManで使用するデータベース作成ツールである。データベースの作成には、自分で形状や、地形を作成する以外にも対応ファイル(形状データ、地形データ等)の取り込みも可能で、別のデータベースの連結や、編集機能なども有している。 |
| Altair WinProp ProMan | Altair WinProp WallManで作成された建物データベース、地形データベースおよび基地局諸元を基に支配的電波伝搬経路算出、伝搬経路に沿った損失算出をおこなうツールである。得られた電波伝搬シミュレーション結果を可視化することができ、画像ファイル、テキストファイルなどで結果を出力することが可能である。 |
| Altair SimLab | ポリゴンファイルを編集する目的で利用する。不要なポリゴンを選択し、削除などを行い、編集したポリゴンファイルを出力することが可能である。 |
| Altair HyperStudy | 基地局配置の最適化を実施する目的で利用する。複数の最適化アルゴリズムを搭載した最適化ツールである。 |
| Numpy | 多次元データの取り扱えるPythonライブラリである。地形データ変換機能で利用する。 |
| PyVista | PythonでVisualization Toolkit(VTK)を扱うためのライブラリである。地形データ変換機能で利用する。 |

Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

アルゴリズム

電波伝搬シミュレーション

- 本実証では電波伝搬シミュレーションを実施する。通常の電波伝搬現象では、多くの場合、1つの伝搬経路が全エネルギーの90%以上に寄与することが示されている。このエネルギーの大部分を伝搬する経路をドミナントパス(支配的電波伝搬経路)と呼んでいる。当実証ではこの支配的電波伝搬経路を利用した電波伝搬モデルであるドミナントパスモデルを利用する。ドミナントパスモデルは、送信機と各受信機ピクセル間のドミナントパスを決定し、その経路での電波伝搬を計算することで、すべての伝搬経路を計算するレイトレーシングモデルに比べて計算時間が大幅に削減され、精度はレイトレーシングモデルとほぼ同程度が達成可能である。
- ドミナントパスモデルは大きく二つのステップに分かれる。一つは支配的電波伝搬経路を算出するステップで、もう一つがその支配的電波伝搬経路算出に沿った電波伝搬損失を計算するステップである。

Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム アルゴリズム

1) 支配的電波伝搬経路算出

- ドミナントパスの決定には、データベースを解析し、ドミナントパスが通過する壁や部屋の順序を決定する必要がある。データベースには、壁と壁の材質の情報のみであり、部屋に関する情報は無い。そのため、第一段階として、部屋を決定する必要がある。部屋が決定された後、図に示すような部屋構造のツリーが計算される。ツリーの基点(図では ①)は送信機が置かれた部屋に相当する。第1層(図では"Layer 1"と記載)は隣接するすべての部屋を含む。送信室と隣接する部屋の上に複数の壁がある場合(例えば、部屋①と⑤の間の壁EとF)、隣接する部屋は、部屋間の結合壁がある回数だけ、層に配置される。この最初の層の後、2番目の層が同様に決定される。すべての隣接する部屋(および間の壁)は、最初の層の対応する部屋の枝となる。したがって、建物の各部屋は少なくとも一度はツリーに含まなければならない。受信機が部屋⑤にある場合、ツリーは部屋⑤についてだけ調べればよいので、ツリーの決定後、送信機と受信機との間の支配的な経路が求められる。部屋⑤がツリーに見つかった場合、ツリーの根に戻るすべての枝をたどることによって、対応する支配的な経路を決定することができる。図では壁Eを通過して部屋⑤に行く経路が強調表示されており、経路の決定が示されている。

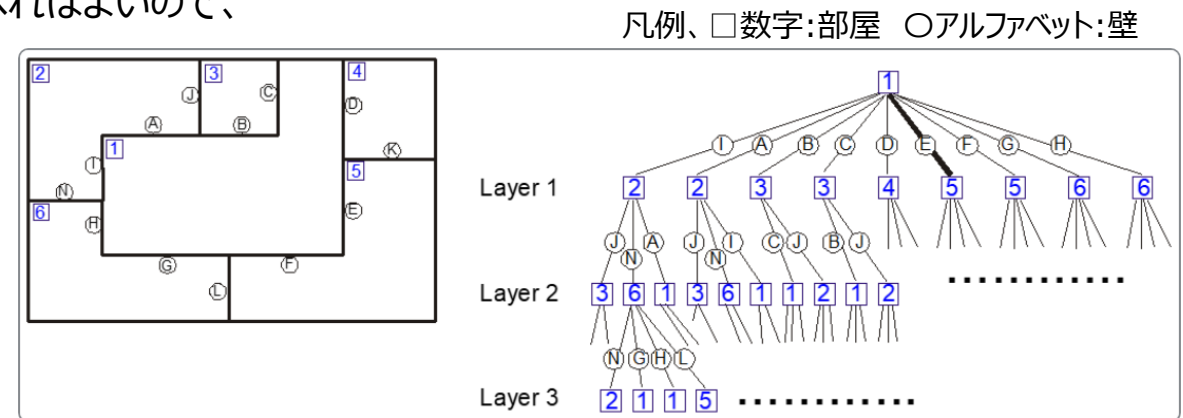


図 建物の部屋とその部屋構造のツリーの関係※1

※1 出所) Altair WinProp ユーザマニュアル URL:https://2022.help.altair.com/2022/hwsolvers/ja_jp/winprop/index.htm

※2 出典) Wolfle, G., and Friedrich M. Landstorfer. "Dominant paths for the field strength prediction." *VTC'98. 48th IEEE Vehicular Technology Conference. Pathway to Global Wireless Revolution (Cat. No. 98CH36151)*. Vol. 1. IEEE, 1998.

Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム アルゴリズム

1) 支配的電波伝搬経路算出

- 送信機と受信機が同一の部屋に配置されている場合、その間のドミナントパスを決定するためには、2つの異なるケースがある。一つは直接見渡せる位置関係、もう一つは直接は見渡せない位置関係である。直接見合わせる位置関係では、2点間の直線に対応する。直接は見渡せない位置関係の場合は、まず、部屋のすべての角に番号をつけ、凸の角と凹の角の2つのリストに分ける。凹角は経路の決定には使われないので、2点間の経路は異なる凸角（少なくとも1つの凸角）を通過しなければならない。注：伝搬経路側に凸な角を凸角とした。
- 送信機用と受信機用の2つのツリーが必要である。送信側（受信側）と凸の角との間が直接見渡せる場合、その角はツリーの第一層に置かれる。第2層は、第1層のコーナーから見えるすべての凸角で構成される。その後、送信側と受信側のツリーを比較し経路を決定する。第1層のツリーで、両方のツリーで同じ角番号があれば、その角を経由して経路がつながっていることになる。

異なる番号がある場合、両方のツリーの第2層ともう一方のツリーの第1層を比較し、ここで同じ番号が見つければ、経路はこの角と第1層の対応する角を経由していることになる。

もしこのレベルで経路が見つからなければ、両方のツリーの第2層のコーナーを比較する。これは、両方のツリーで同じ数字に出会うまで行われる。

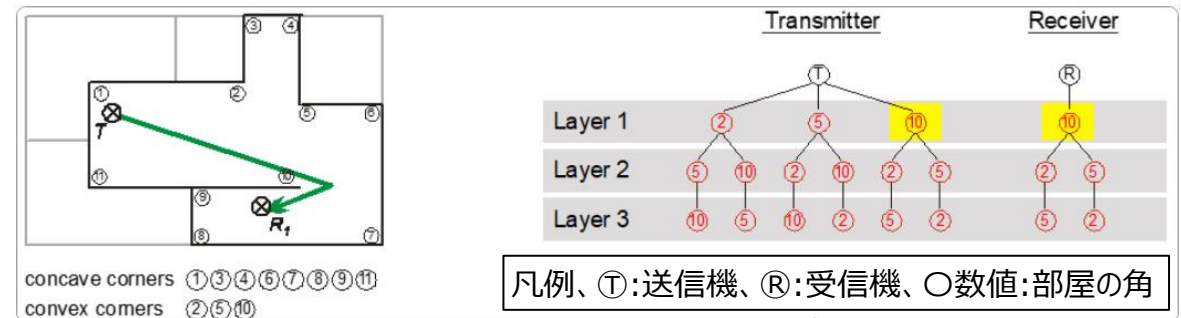


図 1つの部屋における支配的なパスの決定※1

※1 出所) Altair WinProp ユーザマニュアル URL:https://2022.help.altair.com/2022/hwsolvers/ja_jp/winprop/index.htm

※2 出典) Wolfle, G., and Friedrich M. Landstorfer. "Dominant paths for the field strength prediction." *VTC'98. 48th IEEE Vehicular Technology Conference. Pathway to Global Wireless Revolution (Cat. No. 98CH36151)*. Vol. 1. IEEE, 1998.

Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

アルゴリズム

1) 支配的電波伝搬経路算出

- 下図を例にすると、送信機となるⒹから見渡せる凸角は②⑤⑩となる。並行して受信機となるⓇから見渡せる凸角は⑩となり、Layer1にて両ツリーに凸角⑩が含まれることになり、この段階でドミナントパスの候補となる経路がⒹ→⑩→Ⓡと決定する。もし、両ツリーに同じ凸角が現れない場合は、現れるまで同じ操作を繰り返していく。

- ドミナントパスの決定には候補となる経路に対し、下記の式で計算されたLが最も小さい経路が選択される。

$$L = \text{自由空間伝搬損失}(L_p) + \text{壁透過損失}(L_t) + \text{回折損失}(L_I)$$

$$L_p = -27.56 + 20 \cdot \log(\text{周波数}[\text{MHz}]) + 20 \cdot \log(\text{距離}[\text{m}])$$

$$L_t = \sum L_i \quad (L_i \text{は一つの壁での損失})$$

$$L_I = (\sum a_i) / a_L \quad (a_i \text{は角での経路の変化角度、} a_L \text{は標準化するために基準とする角度})$$



図 1つの部屋における支配的なパスの決定※1

※1 出所) Altair WinProp ユーザマニュアル URL:https://2022.help.altair.com/2022/hwsolvers/ja_jp/winprop/index.htm

※2 出典) Wolfle, G., and Friedrich M. Landstorfer. "Dominant paths for the field strength prediction." *VTC'98. 48th IEEE Vehicular Technology Conference. Pathway to Global Wireless Revolution (Cat. No. 98CH36151)*. Vol. 1. IEEE, 1998.

Ⅲ. 実証システム > 5. アルゴリズム

アルゴリズム

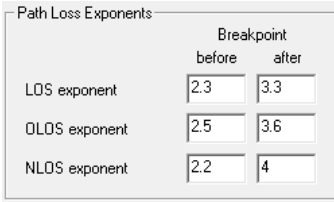
2)伝搬経路に沿った損失算出

- 前頁の「1) 支配的電波伝搬経路算出」で求められた支配的な伝搬経路に沿った電波の伝搬損失を下記の式により算出を行う。任意に設定可能なパラメータとして、Path loss exponent(受信点から送信機が見通せるか見通せないかに依存する係数)の設定値を下記の表のように設定する。

$$L = 20 \log \left(\frac{4\pi}{\lambda} \right) + 10p \log(l) + \sum_{i=1}^n f(\varphi, i) + \sum_{j=1}^m t_j - \Omega - g_t \quad \text{※1}$$

※1 出所) Altair WinProp ユーザマニュアル
 URL: https://2022.help.altair.com/2022/hwsolvers/ja_jp/winprop/index.htm

表 任意に設定可能なパラメータ

| パラメータ | 設定値 | 根拠 |
|---|---|---|
| Path loss exponent(受信点から送信機が見通せるか見通せないかに依存する係数) |  | シミュレーションプログラムの開発チームによる実測検証の結果、実測と最もよく整合する値としてデフォルト値で設定されているものを採用した。 |

L:伝搬損失(dB)、λ:波長(m)、p:受信点から送信機が見通せるか見通せないかに依存する係数:Path loss exponent、l:伝搬距離(m)、f(φ,i):相互作用による損失、φ:相互作用前後の経路の角度、i:相互作用の数、t:壁透過損失、j:壁の数、Ω:導波管係数(導波管効果による損失低減)、gt:送信アンテナゲイン

出所)

電波伝搬シミュレーションの“支配的電波伝搬経路算出”、および“伝搬経路に沿った損失算出”の処理において、G. Wölfle, F.M. Landstorfer, R. Gahleitner, and E. Bonek: “Extensions to the field strength prediction technique based on dominant paths between transmitter and receiver in indoor wireless communications”, 2nd European Personal and Mobile Communications Conference (EPMCC) 1997 (together with 3. ITG Fachtagung “Mobile Kommunikation”), Bonn, Germany, pp. 29-36, Sept 1997.のアルゴリズムを活用

Ⅲ. 実証システム > 6. データ

① 活用データ | 3D都市モデル一覧

| 地物 | 地物型 | 属性区分 | 属性名 | 内容 |
|---------|---------------|------|----------------|-------------|
| 建築物LOD2 | bldg:Building | 空間属性 | bldg:lod2Solid | 建築物のLOD2の立体 |
| 建築物LOD1 | bldg:Building | 空間属性 | bldg:lod1Solid | 建築物のLOD1の立体 |
| 地形LOD 1 | dem:TINRelief | 空間属性 | dem:tin | TIN |

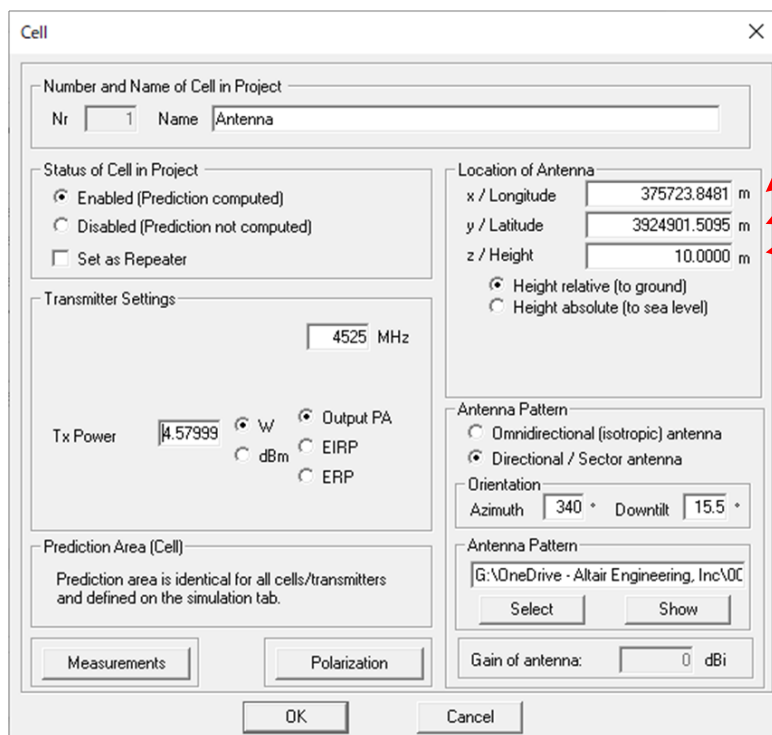
Ⅲ. 実証システム > 6. データ

① 活用データ | その他の活用データ一覧

| 活用データ | 内容 | データ形式 | 出所 |
|-----------------|------------------------|-------|---|
| 基地局（送信アンテナ）の座標値 | 基地局の送信アンテナを配置する座標値。 | テキスト | ・ドコモビジネスソリューションズ |
| 送信周波数 | 送信アンテナから送信されている電波の周波数。 | テキスト | <ul style="list-style-type: none"> ・JTOWER ・ドコモビジネスソリューションズ |
| 送信出力 | 送信アンテナから送信されている電波の電力。 | | |
| アンテナ指向性特性 | 送信アンテナが有する送信電力の方向依存性。 | | |
| 基地局の配置候補場所 | 基地局の配置可能な候補場所の情報。 | PDF | ・YMM21 |

Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ①活用データ 基地局（送信アンテナ）の座標値

- 基地局の送信アンテナを配置する座標値として、データを利用する。座標値は実際に移動基地局車の位置の緯度経度をEPSG : 6691の座標値で設定する。

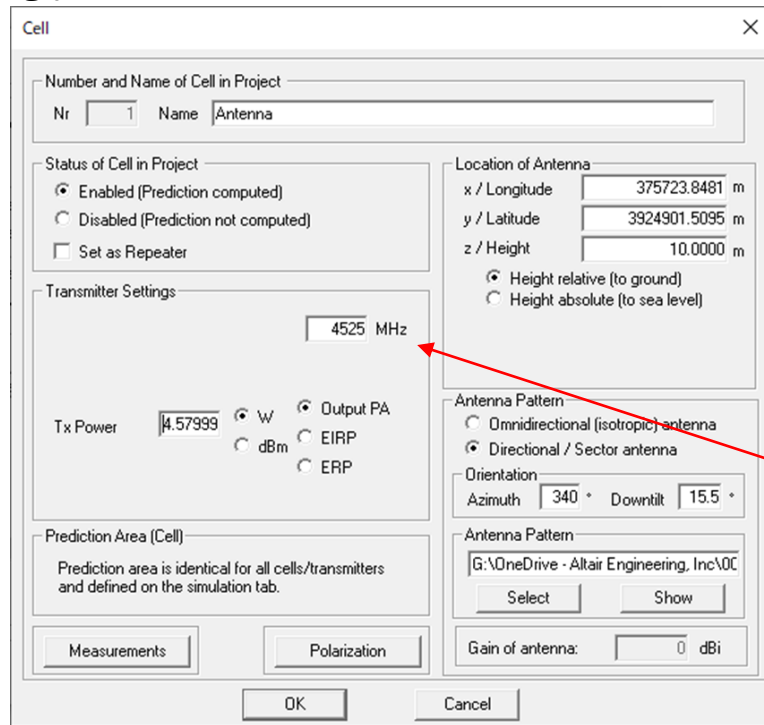


| GUI項目 | 内容 | 値 |
|--------------------------|-----------------------------|------------------|
| x/Longitude | 送信アンテナのX座標 | 375723.8481 (m) |
| y/Latitude | 送信アンテナのY座標 | 3924901.5095 (m) |
| z/Height | 送信アンテナのZ座標(対地) | 10.0 (m) |
| Azimuth | 北を0度としたアンテナの方位角 | 340 (度) |
| Downtilt | 地面と水平を0度としたアンテナの下方方向への傾きの角度 | 15.5 (度) |
| Transmitter Settings MHz | 送信電波周波数 | 4525 (MHz) |
| Tx Power | 送信電波出力 | 4.58 (W) |

図 送信アンテナを配置する座標値の設定(ProManでの設定画面)

Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ①活用データ 送信周波数

- 送信アンテナから送信されている電波の周波数としてデータを利用する。周波数は実際に移動基地局車から送信される周波数の値を設定する。

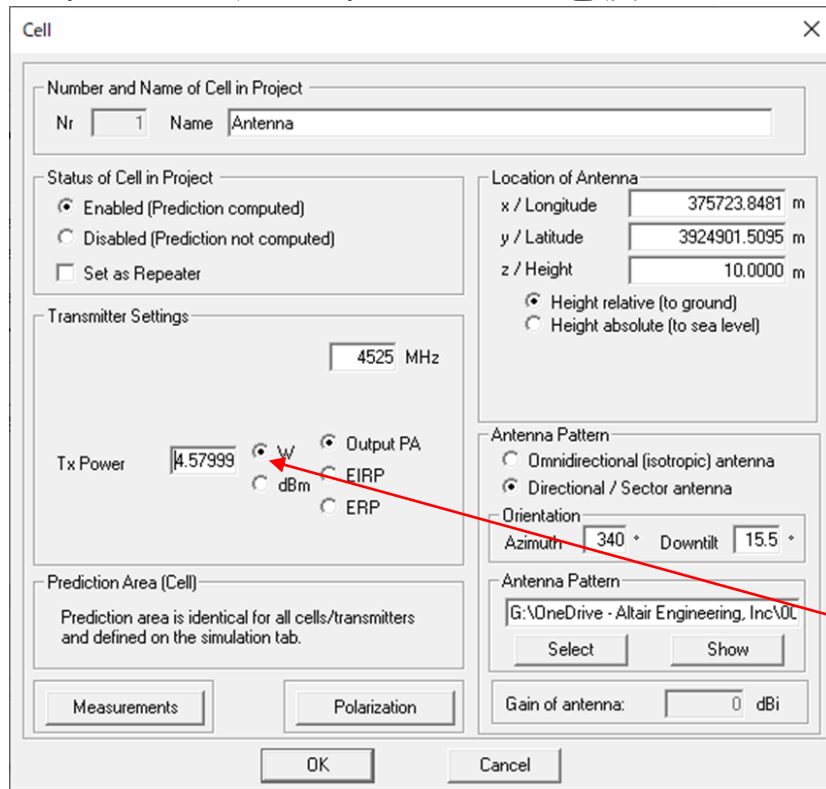


| GUI項目 | 内容 | 値 |
|--------------------------|-----------------------------|------------------|
| x/Longitude | 送信アンテナのX座標 | 375723.8481 (m) |
| y/Latitude | 送信アンテナのY座標 | 3924901.5095 (m) |
| z/Height | 送信アンテナのZ座標(対地) | 10.0 (m) |
| Azimuth | 北を0度としたアンテナの方位角 | 340 (度) |
| Downtilt | 地面と水平を0度としたアンテナの下方方向への傾きの角度 | 15.5 (度) |
| Transmitter Settings MHz | 送信電波周波数 | 4525 (MHz) |
| Tx Power | 送信電波出力 | 4.58 (W) |

図 送信周波数の設定(ProManでの設定画面)

Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ①活用データ 送信出力

- 送信アンテナから送信されている電波の出力として、データを利用する。出力は実際に移動基地局車から送信される電波の出力を設定する。

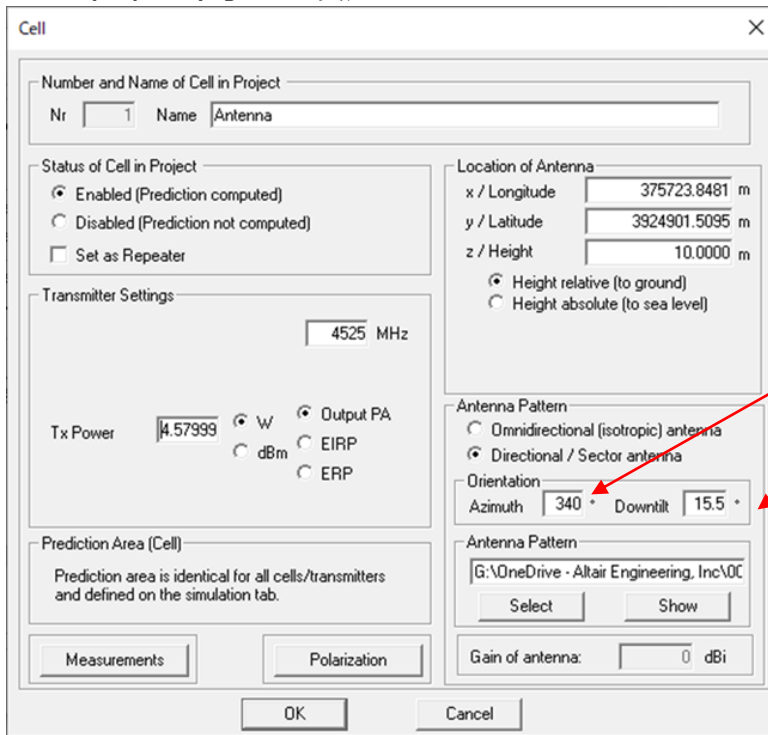


| GUI項目 | 内容 | 値 |
|--------------------------|-----------------------------|------------------|
| x/Longitude | 送信アンテナのX座標 | 375723.8481 (m) |
| y/Latitude | 送信アンテナのY座標 | 3924901.5095 (m) |
| z/Height | 送信アンテナのZ座標(対地) | 10.0 (m) |
| Azimuth | 北を0度としたアンテナの方位角 | 340 (度) |
| Downtilt | 地面と水平を0度としたアンテナの下方方向への傾きの角度 | 15.5 (度) |
| Transmitter Settings MHz | 送信電波周波数 | 4525 (MHz) |
| Tx Power | 送信電波出力 | 4.58 (W) |

図 送信出力の設定(ProManでの設定画面)

Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ①活用データ アンテナ指向性特性

- 送信アンテナが有する送信出力の方向依存性として、データを利用する。アンテナ指向性特性は実際に移動基地局車に設置されたアンテナの特性と向きを設定する。



| GUI項目 | 内容 | 値 |
|--------------------------|-----------------------------|------------------|
| x/Longitude | 送信アンテナのX座標 | 375723.8481 (m) |
| y/Latitude | 送信アンテナのY座標 | 3924901.5095 (m) |
| z/Height | 送信アンテナのZ座標(対地) | 10.0 (m) |
| Azimuth | 北を0度としたアンテナの方位角 | 340 (度) |
| Downtilt | 地面と水平を0度としたアンテナの下方方向への傾きの角度 | 15.5 (度) |
| Transmitter Settings MHz | 送信電波周波数 | 4525 (MHz) |
| Tx Power | 送信電波出力 | 4.58 (W) |

図 送信アンテナの指向性の設定(ProManでの設定画面)

Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ① 活用データ

基地局の配置候補場所

- 基地局の配置可能な候補場所として、照明灯に基地局を設置する案を設定した。
- 照明灯の位置の取得には、下記サイト地理院地図の機能を利用して緯度経度を取得する。
出所) <https://maps.gsi.go.jp> 地理院地図

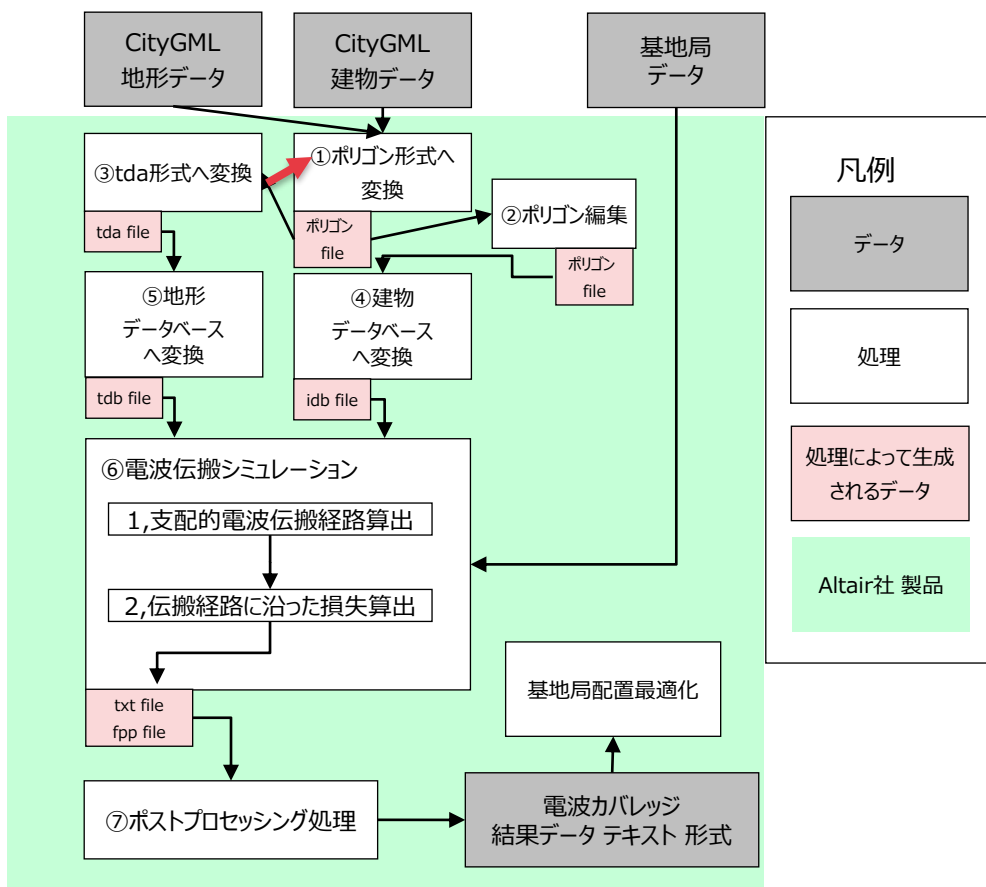
Ⅲ. 実証システム > 6. データ

② データ処理 | 一覧

| システムに入力するデータ (データ形式) | 用途 | 処理内容 | データ処理ソフトウェア | 活用データ (データ形式) |
|---------------------------|------------------------------|-----------|--|---------------------------|
| 3Dモデルデータ (STL形式) | 電波伝搬シミュレーション用の3Dモデル | なし | なし | 3D都市モデル (CityGML形式) |
| 3Dモデルデータ (tda形式) | 電波伝搬シミュレーション用の3Dモデル | 緯度経度高さを取得 | python | 3Dモデルデータ (STL形式) |
| 3Dデータベース (idb形式、tdb形式) | 電波伝搬シミュレーション用の3Dモデル | なし | なし | 3Dモデルデータ (STL形式、tda形式) |
| 基地局の配置候補場所 (GUIに入力) | 電波伝搬シミュレーションの基地局に関する情報の入力のため | 緯度経度を取得 | 地理院地図 https://maps.gsi.go.jp | 基地局の配置候補場所 (PDF形式) |

Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ②データ処理 3Dモデルデータ (STL形式) の生成

1) 3D都市モデルCityGML形式をポリゴン(STL形式)へ変換

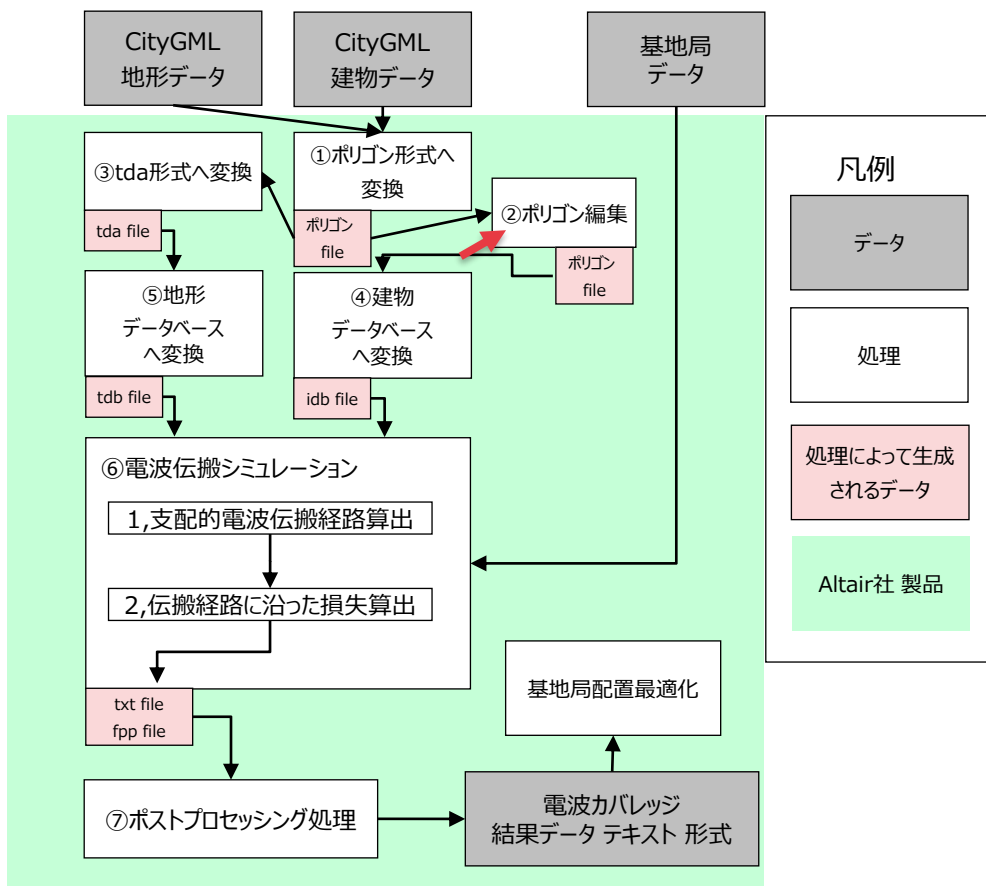


| 利用製品 | 項目 | 操作手順 | 入力データ | 出力データ |
|--------------------------------|------------|--|----------------|---------------|
| Altair社製 CityGML 変換プログラム | ①ポリゴン形式へ変換 | 1:入力データファイルを選択 2:出力データファイル名を指定 3:UTMゾーンを指定 4:実行 | CityGML (.gml) | ポリゴン形式 (.STL) |

| 処理内容 |
|--|
| CityGMLからポリゴン形式のファイル作成を行う。変換後の座標系を指定することができる。座標値はCityGML内の緯度、経度、高さの情報から取得する。読み込み範囲は各.gmlファイル単位で読み込みを行う。本実証では地形、建物ともに1つの.gmlファイルが1km ² の範囲を収録していたので、1km ² ごとに読み込み、出力されるポリゴン形式(STL)も1ファイルに1km ² の範囲のファイルが出力される。 |

Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ②データ処理 3Dモデルデータ (STL形式) の生成

2) ポリゴンデータ(STL形式)の編集

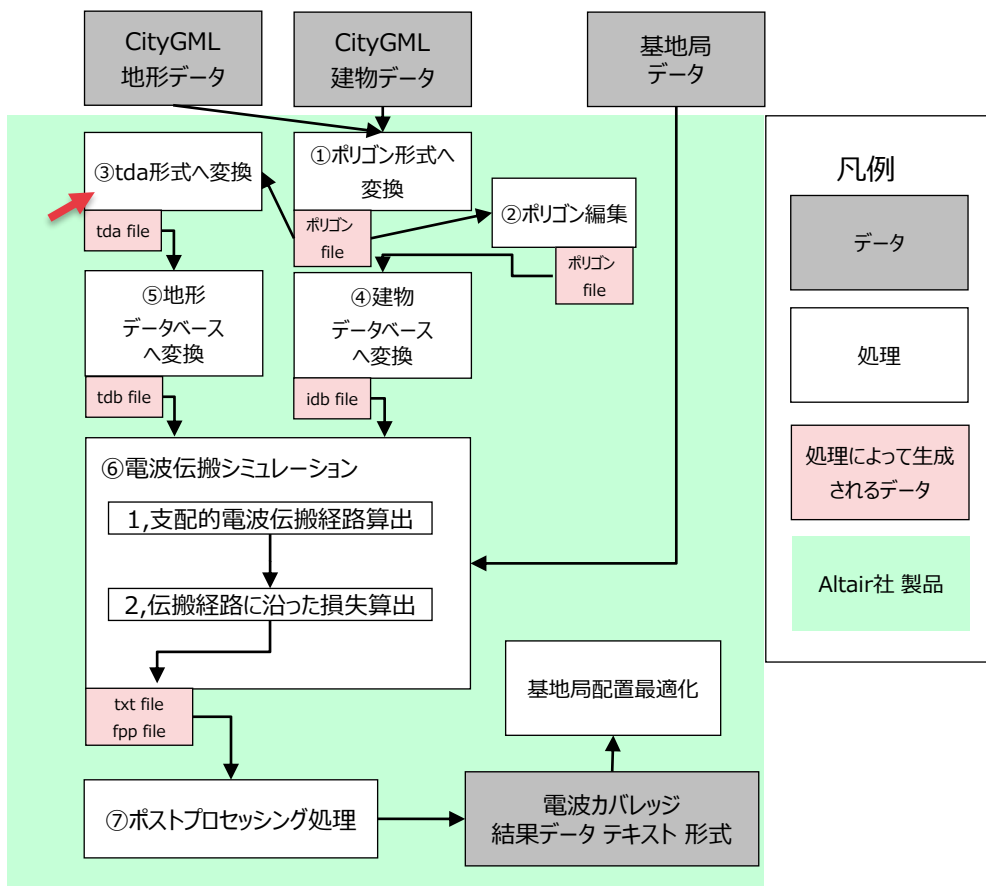


| 利用製品 | 項目 | 操作手順 | 入力データ | 出力データ |
|------------------|---------|-----------------------------|---------------|---------------|
| Altair SimLab | ②ポリゴン編集 | 「Ⅲ、6、SimLab :ポリゴンデータの修正」に記載 | ポリゴン形式 (.STL) | ポリゴン形式 (.STL) |

| 処理内容 |
|---|
| 本実証の対象地域を取り出すために、ポリゴン形式のデータから対象地域外の建物データを削除し、再度ポリゴン形式 (STL) で出力する。読み込み範囲は10km ² 程度を読み込む。 |

Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ②データ処理 3Dモデルデータ (tda形式) の生成

ポリゴン形式をASCII Line Format(tda形式)へ変換



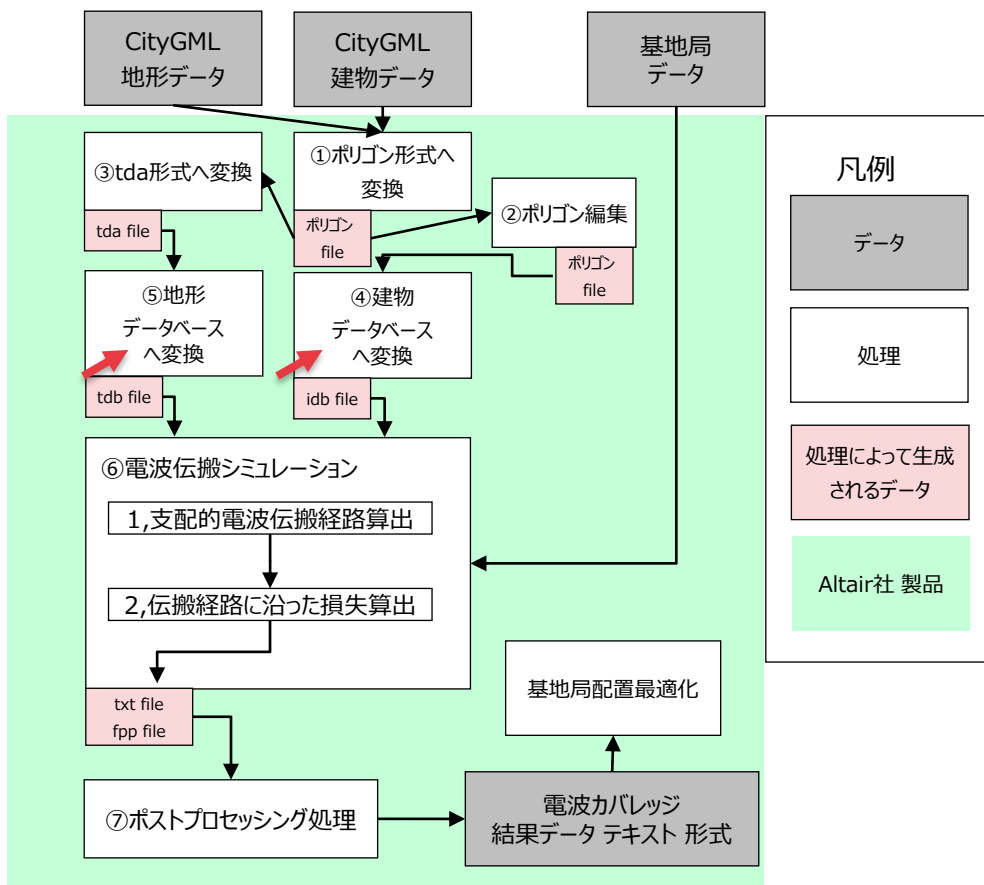
| 利用製品 | 項目 | 操作手順 | 入力データ | 出力データ |
|--------|-----------|--|---------------|--------------------------|
| Python | ③tda形式へ変換 | 「Ⅲ、6、4)補足：本実証でのデータベース作成、編集ツールへのCityGMLデータの読み込みについて」に記載 | ポリゴン形式 (.STL) | ASCII Line Format (.tda) |

| 処理内容 |
|---|
| 地形のポリゴン形式のデータから、x座標、y座標、高さの順に記載をするASCII Line Format(tda形式)に変換をする。 |

Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ②データ処理

3Dデータベースの生成

電波伝搬シミュレーション用のデータベースへ変換



| 利用製品 | 項目 | 操作手順 | 入力データ | 出力データ |
|------------------------|------------------------------|--------------------------|---|------------------------------------|
| Altair WinProp WallMan | ④建物データベースへ変換 ⑤地形データベースへ変換 | 「Ⅲ、6、WinProp WallMan」に記載 | ④ポリゴン形式(.STL) ⑤ASCII Line Format(.tda) | ④建物データベース(.idb) ⑤地形データベース(.tdb) |

処理内容

建物、地形それぞれを電波伝搬シミュレーションに利用できるデータベース形式に変換する。一度に変換できる範囲はプログラム側では制限がなく、プログラムの実行環境に依存する。本実証では26km程度の範囲を変換する。

Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ②データ処理 基地局の配置候補場所の緯度経度取得

活用データ：基地局の配置候補場所(PDF形式)から緯度経度を取得

手順

- 下記出典に記載されている地理院地図の機能
を利用し、緯度経度を求める。

出典：<https://maps.gsi.go.jp/help/intro/kinolist/2-jusho.html>

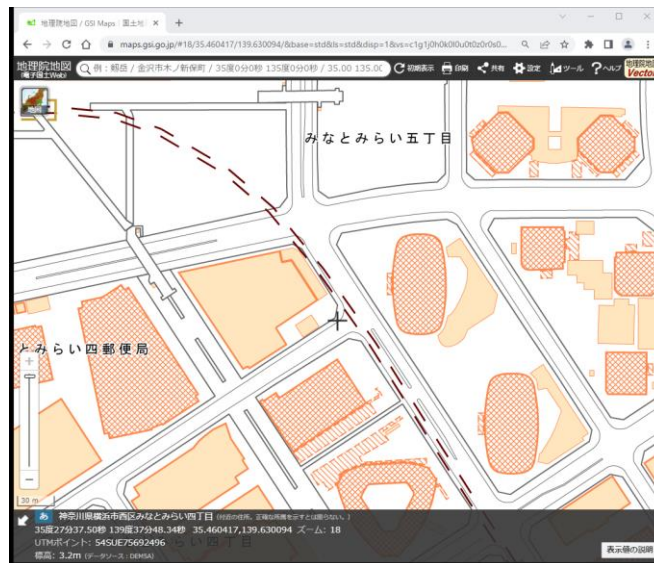


図 照明灯の位置の緯度経度を取得している画面

- <https://maps.gsi.go.jp> にアクセスする。
- 基地局の配置候補場所(PDF形式)に記載されている照明灯の位置に地理院地図の十字カーソルを合わせる。
- 表示値から緯度経度を読み取る。

Ⅲ. 実証システム > 6. データ

③ 出力データ | 一覧

- 「基準信号受信電力」と「受信電力」をシミュレーション結果として出力する。「基準信号受信電力」は基地局から発射された電波のリソースエレメントと呼ばれる特定の周波数帯域幅に含まれる基地局固有の基準信号の受信機位置での受信電力で、基地局からの電波の受信状況を評価する際に利用する。一方で「受信電力」とは、受信機位置に到達する電波の全電力を表している。

| 出力データ | 内容 | データ形式 |
|----------------------|--|-------|
| 基準信号受信電力(以降 RSRPと記載) | 受信機位置での基準信号の平均電力を表す。 電波計測結果と比較するための出力データ。 | テキスト |
| 受信電力 | 受信機位置に到達する電波の最大電力の値。 | テキスト |

Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ③ 出力データ RSRP（基準信号受信電力）

- RSRP（基準信号受信電力）は、基地局固有の基準信号を含む電波の電力の平均の値である。
- 出力されるテキストは図3の通りで、ヘッダに続き、X座標値、Y座標値、RSRPの値の順にデータが並ぶフォーマットとなる。

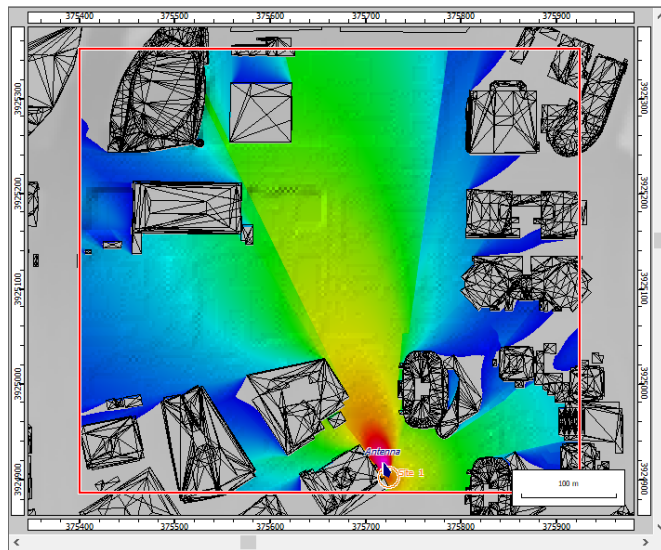


図1 WinPropによるRSRPの表示

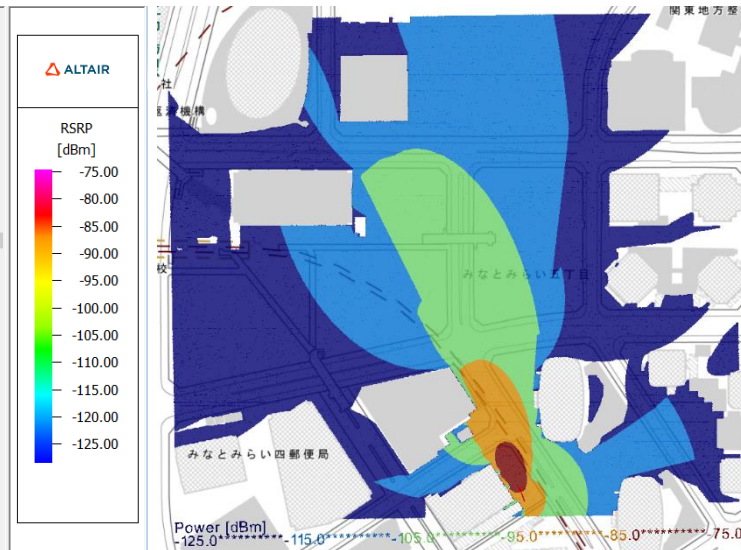


図2 PLATEAU VIEWによるRSRPの表示

```
375435.10500 3924968.92500 -117.0593
375435.10500 3924969.17500 -117.1289
375435.10500 3924969.42500 -117.1993
375435.10500 3924969.67500 -117.2705
375435.10500 3924969.92500 -117.3422
375435.10500 3924970.17500 -117.4144
375435.10500 3924970.42500 -117.4872
375435.10500 3924970.67500 -117.5604
```

図3 RSRPのテキスト出力

Ⅲ. 実証システム > 6. データ > ③出力データ 受信電力

- 受信機位置に到達する電波の最大電力の値である。
- 出力されるテキストは図3の通りで、ヘッダに続き、X座標値、Y座標値、受信電力の値の順にデータが並ぶフォーマットとなる。

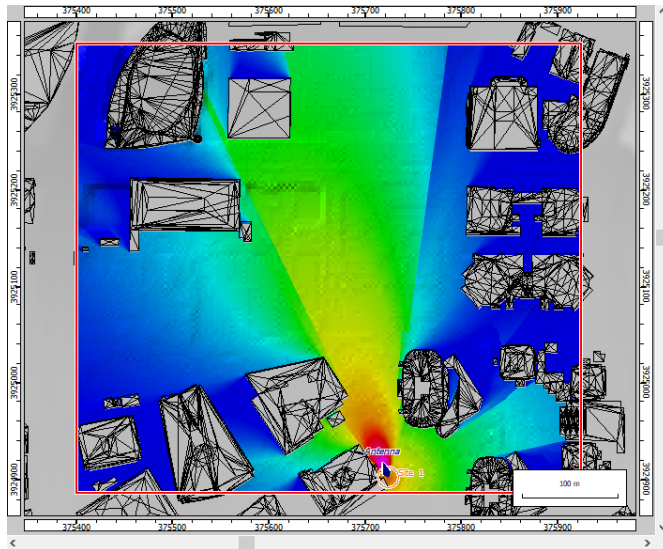


図1 WinPropによる受信電力の表示

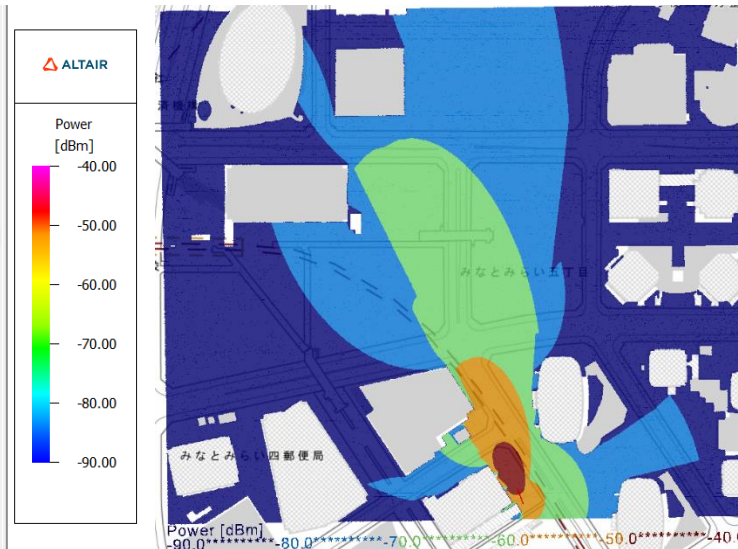


図2 PLATEAU VIEWによる受信電力の表示

| | | |
|--------------|---------------|-----------|
| 375400.85500 | 3924888.42500 | -101.9846 |
| 375400.85500 | 3924888.67500 | -102.0129 |
| 375400.85500 | 3924888.92500 | -102.0414 |
| 375400.85500 | 3924889.17500 | -102.0700 |
| 375400.85500 | 3924889.42500 | -102.0987 |
| 375400.85500 | 3924889.67500 | -102.1275 |
| 375400.85500 | 3924889.92500 | -102.1565 |
| 375400.85500 | 3924890.17500 | -102.1856 |
| 375400.85500 | 3924890.42500 | -102.2148 |
| 375400.85500 | 3924890.67500 | -102.2441 |

図3 受信電力のテキスト出力


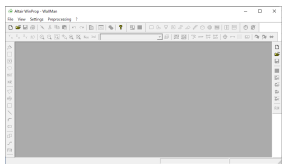

Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース

ユーザインタフェース

画面構成

- 基地局諸元や、使用するデータベース設定など、頻繁に変更する項目についてはGUI画面から設定、変更が可能であり、シミュレーション結果の可視化も3Dモデルと共に確認できる。

表 画面構成一覧

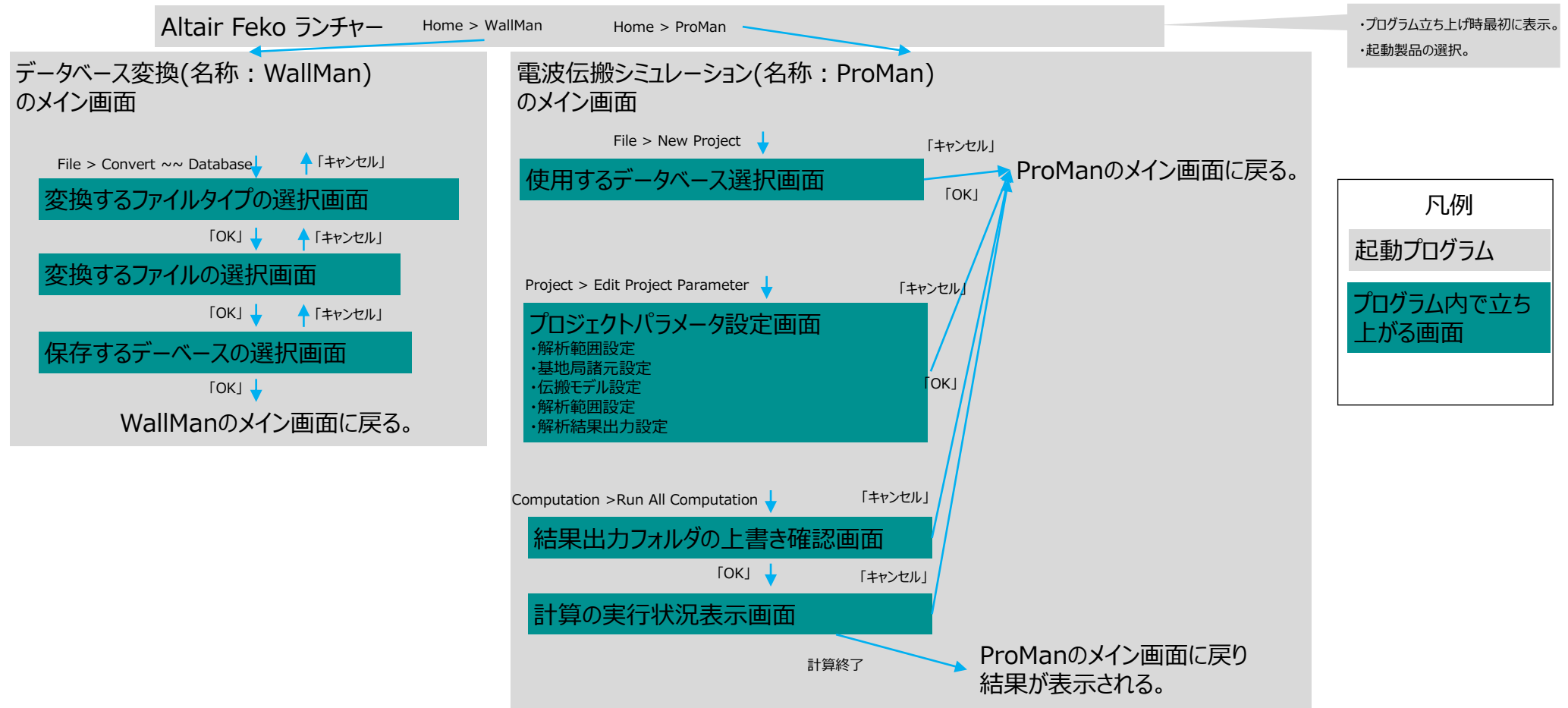
| 画面 | 機能 | GUI画面による設定項目 |
|-----------------------------|--|---|
| トップ | 起動プログラムの選択。  | <ul style="list-style-type: none"> 起動プログラムをアイコンから選択。 |
| データベース変換 (名称：WallMan) | <ul style="list-style-type: none"> 地形データベースへ変換。 建物データベースへ変換。  | <ul style="list-style-type: none"> 変換対象のファイルの選択。 変換座標系選択。 欠損データ補間方法の設定。 |
| 電波伝搬シミュレーション (名称：ProMan) | <ul style="list-style-type: none"> 電波伝搬シミュレーション。 ポストプロセッシング処理。  | <ul style="list-style-type: none"> シミュレーションシナリオ選択。 データベース選択。 基地局諸元設定。 出力項目設定。 計算実行時の結果フォルダの確認。 計算結果の可視化、出力。 |

Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース ユーザインタフェース

遷移図



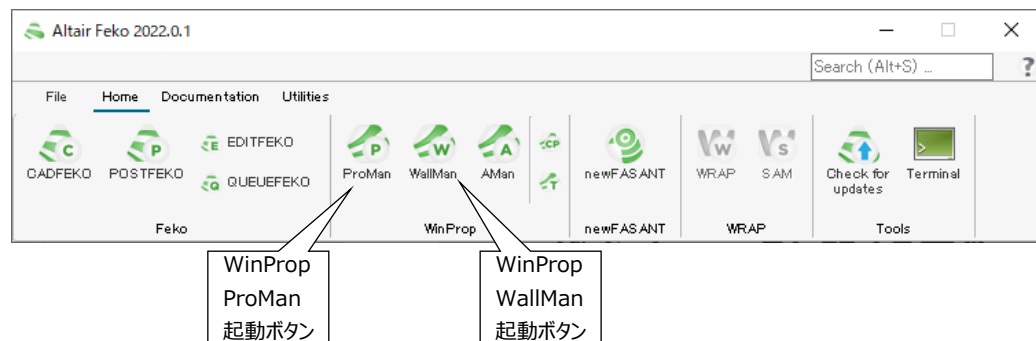
PLATEAU
by MLIT



Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース

ユーザインタフェース

1) Altair Feko ランチャー

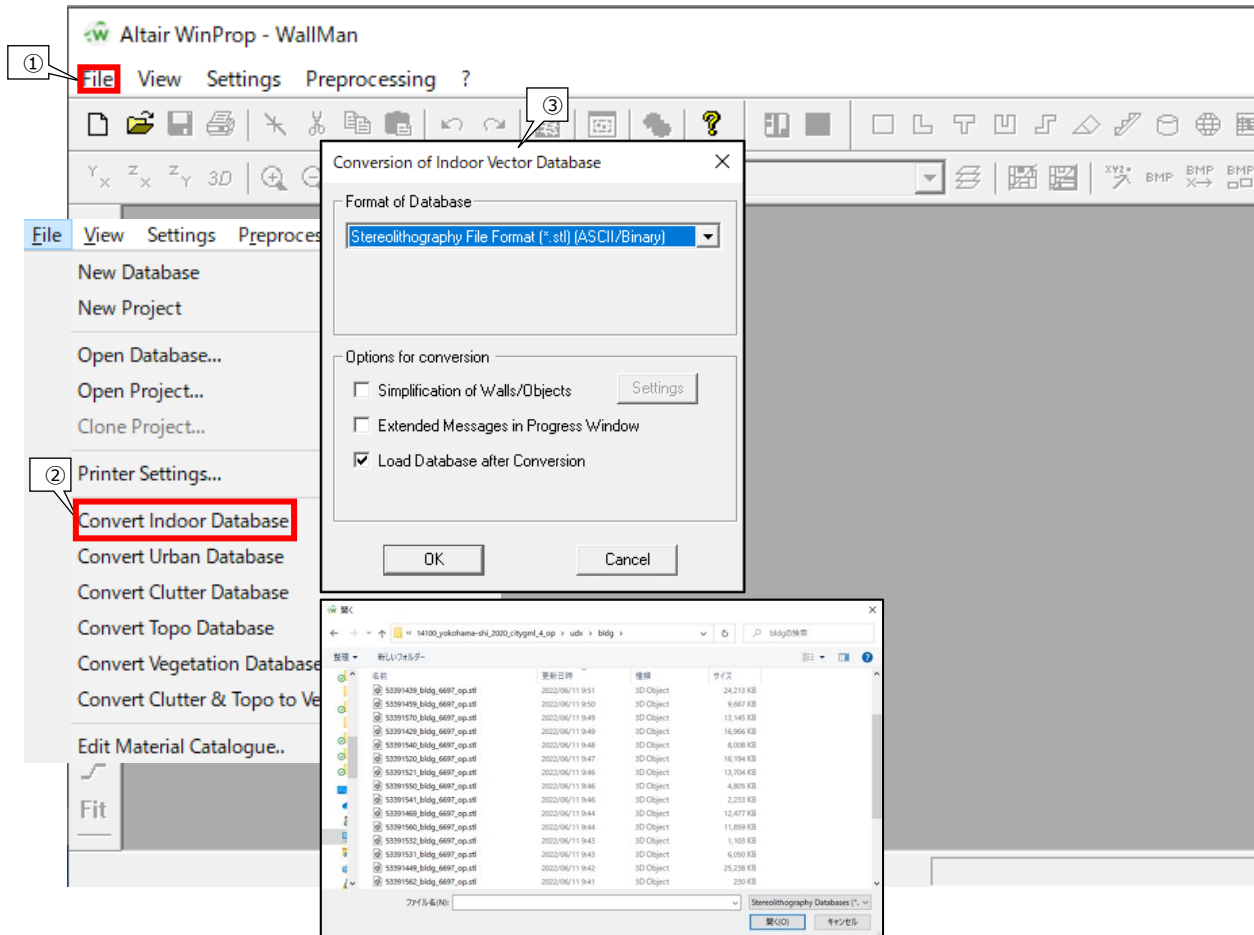


| 機能名 | 説明 |
|---------|--|
| WallMan | ベクトルデータベース用のグラフィカルエディターであるWallManの起動ボタンをクリックする。 |
| ProMan | 電波伝搬シミュレーションの設定、実行、結果処理をおこなうProManの起動ボタンをクリックする。 |

Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース ユーザインタフェース

2) WinProp WallMan:電波伝搬シミュレーション用の建物データベース作成

| 機能名 | 説明 |
|--|---|
| ①File | データベースへの変換機能が、Fileメニュー内にある。 |
| ②Convert Indoor Database | データベースへの変換機能。この実証ではIndoorシナリオを適用しているため、Indoor用のデータベースを作成する。 |
| ③ Conversion of Indoor Vector Database | データベースへ変換するファイルフォーマットとファイルを選択し、OKボタンをクリックするとデータベースへの変換が実行される。ファイルフォーマットを選択するとそのフォーマットでフィルタされたファイルブラウザからファイル選択ができる。本実証での具体的な方法については後述する。 |

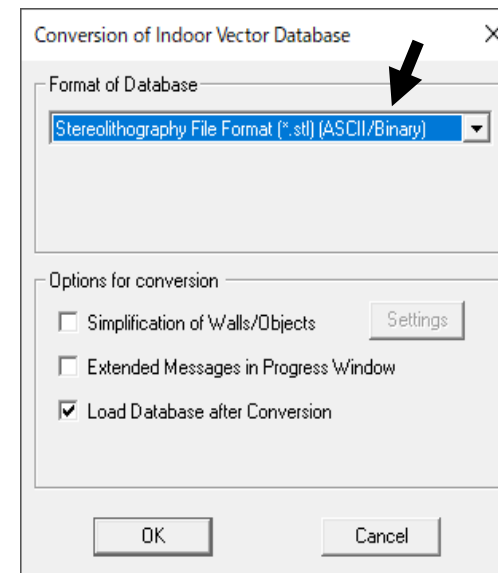


Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース

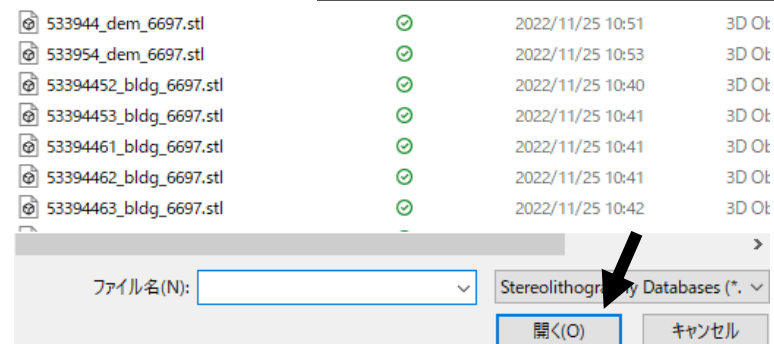
ユーザインタフェース

2) WinProp WallMan:電波伝搬シミュレーション用の建物データベース作成

- 3D都市モデルを建物データベースへ変換する実施手順を示す。
 - Format of DatabaseからSTLまたは、CityGMLを選択し、OKをクリックする。



- Fileの選択画面が開くので読み込みたいファイルを選択し、開くをクリックする。



Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース ユーザインタフェース

2) WinProp WallMan:電波伝搬シミュレーション用の建物データベース作成

- 3D都市モデルを建物データベースへ変換する実施手順を示す。
 - UTM座標系を指定する。本実証の実施場所はみなとみらい21地区であるため、54を入力しOKをクリックする。
UTMのゾーン分けについては、「測量に関するミニ知識 | 国土地理院」出所) <https://www.gsi.go.jp/chubu/minichishiki10.html>を参考にした。

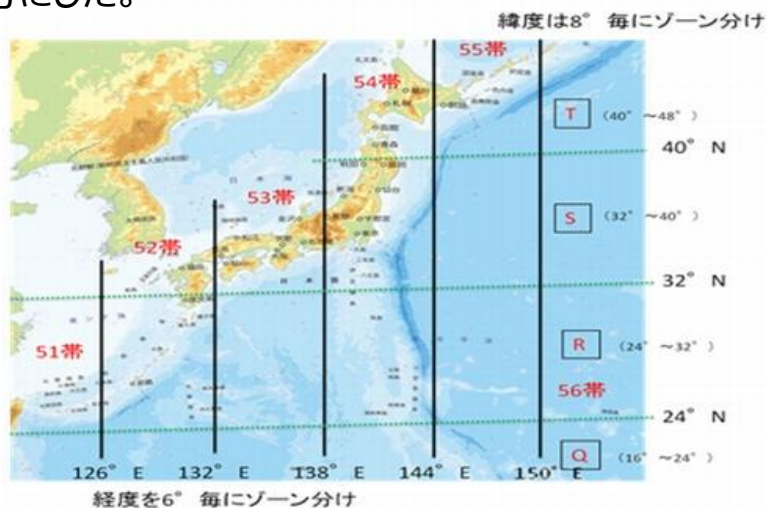
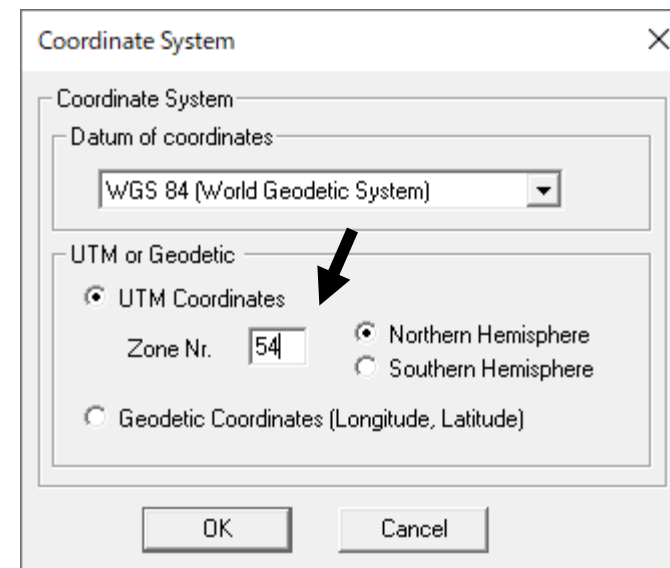


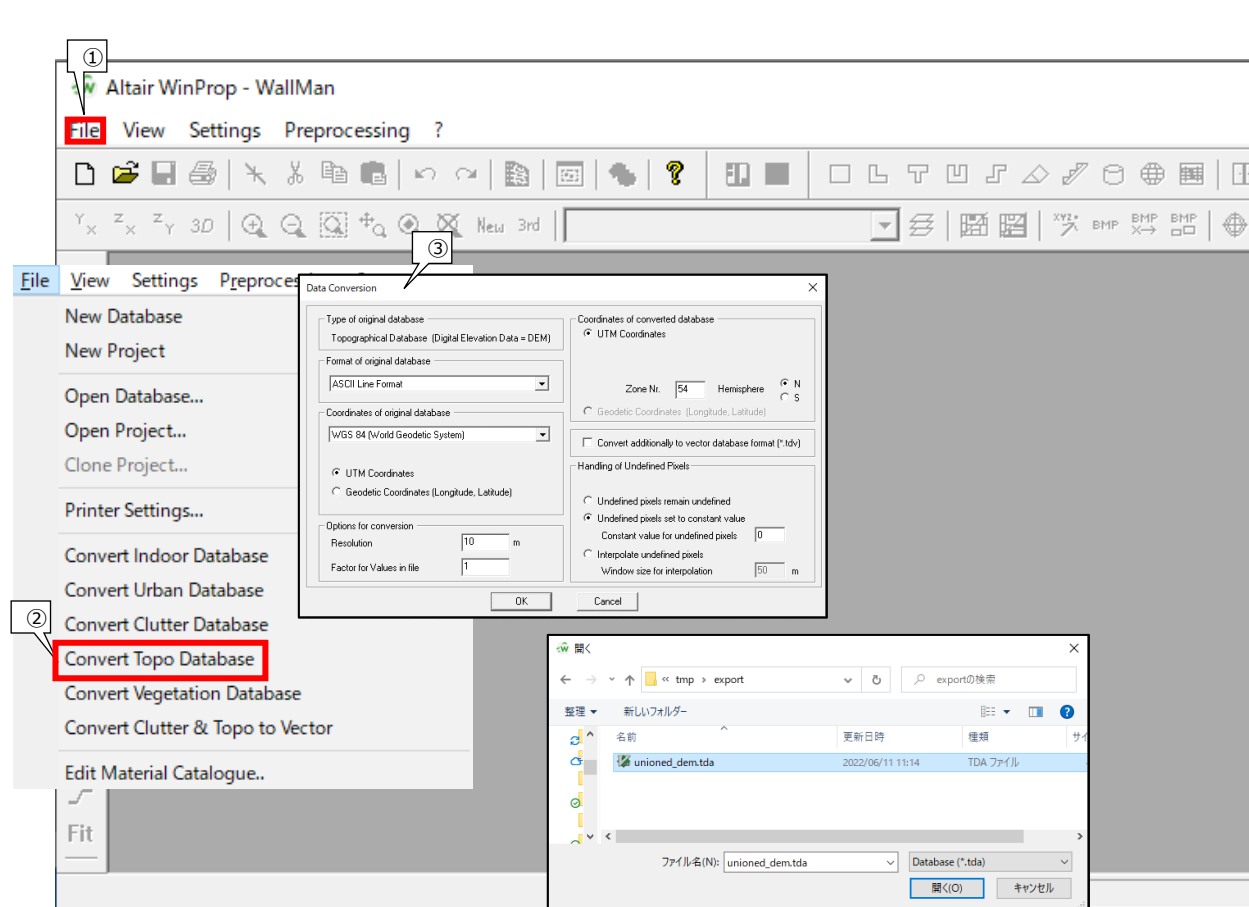
図 日本周辺の経度緯度のゾーン※1



※1 出所) 国土交通省国土地理院 測量に関するミニ知識
第10回 UTMグリッド地図 その2
URL <https://www.gsi.go.jp/common/000095535.jpg> (最終更新日 2022年7月25日)

Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース ユーザインタフェース

3) WinProp WallMan:電波伝搬シミュレーション用の地形データベース作成



The screenshot shows the Altair WinProp - WallMan software interface. The 'File' menu is open, and the 'Convert Topo Database' option is highlighted. A 'Data Conversion' dialog box is displayed, showing options for the original database type (Topographical Database - Digital Elevation Data - DEM), format (ASCII Line Format), coordinates (WGS 84), and conversion options (Resolution: 10 m, Factor for Values in file: 1). A file browser window is also shown, displaying a file named 'unioned_dem.tda' in the 'tmp > export' directory.

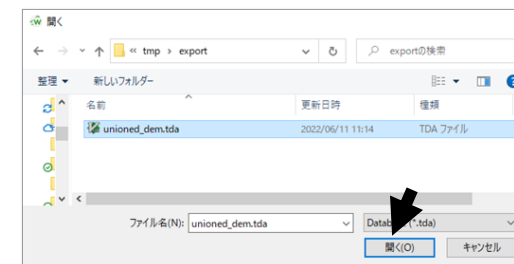
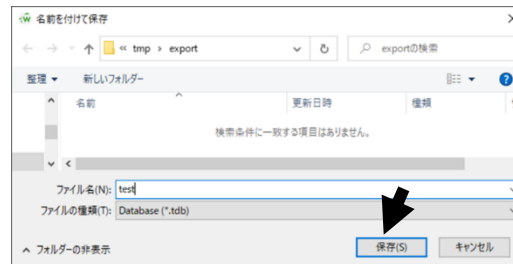
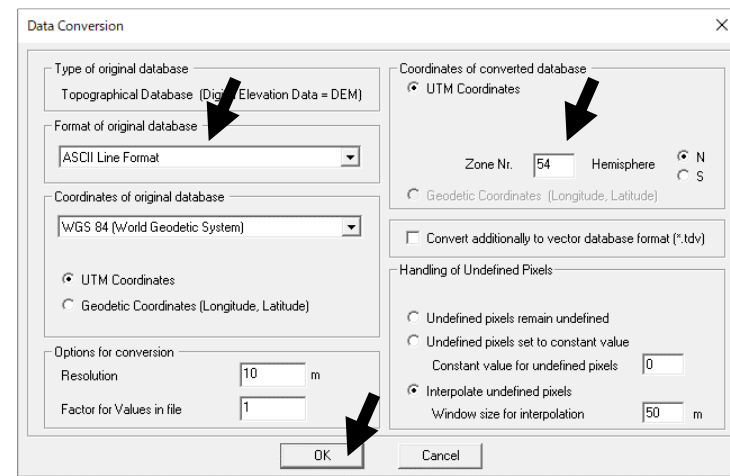
| 機能名 | 説明 |
|------------------------|---|
| ①File | データベースへの変換機能が、Fileメニュー内にある。 |
| ②Convert Topo Database | テキスト形式の地形データをバイナリ形式のデータベースへ変換する機能。 |
| ③Data Conversion | データベースへ変換するファイルフォーマットとファイルを選択し、OKボタンをクリックするとデータベースへの変換が実行される。ファイルフォーマットを選択するとそのフォーマットでフィルタされたファイルブラウザからファイル選択ができる。本実証での具体的な方法については後述する。 |

Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース

ユーザインタフェース

3) WinProp WallMan:電波伝搬シミュレーション用の地形データベース作成

- 3D都市モデルを地形データベースへ変換する実施手順をしめす。
 - Format of original databaseで、ASCII Line Formatを選択する。
 - UTM Coordinatesで、54を入力し、OKをクリックする。
 - Fileの選択画面が開くので読み込みたいファイルを選択し、開くをクリックする。
 - 保存する地形データベースのファイル名を記入し、保存をクリックする。



Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース

ユーザインタフェース

4) WinProp WallMan:電波伝搬シミュレーション用のデータベース作成、編集ツール 補足：本実証でのデータベース作成、編集ツールへのCityGMLデータの読み込みについて

- WinProp version 2022.2以降ではCityGML形式を直接読み込む機能が搭載されているが、本実証の作業段階では、機能搭載前であったため、そのプロトタイプの変換機能を利用した。
- 建物データベースに関しては、CityGML形式をSTL形式へ変換し、WallManに読み込みデータベースを作成した。
- 地形データベースに関してはCityGML形式をSTL形式に変換し、STL形式から下記のPythonスクリプトによりWallManに読み込めるASCII Line Format (.tda)形式へ変換した。

```
import pyvista as pv
import numpy as np
np.savetxt('output.tda',pv.read('input.stl').points)
```

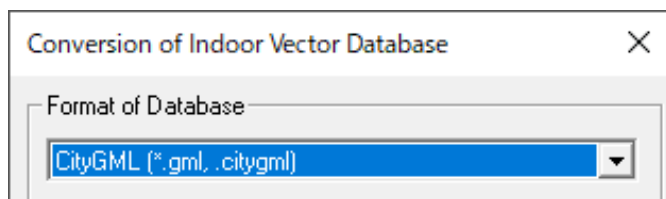


図 CityGMLの直接読み込み画面

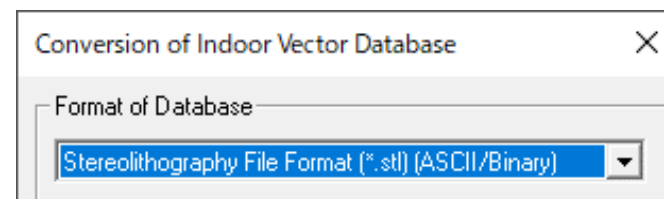


図 STLの読み込み画面

Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース

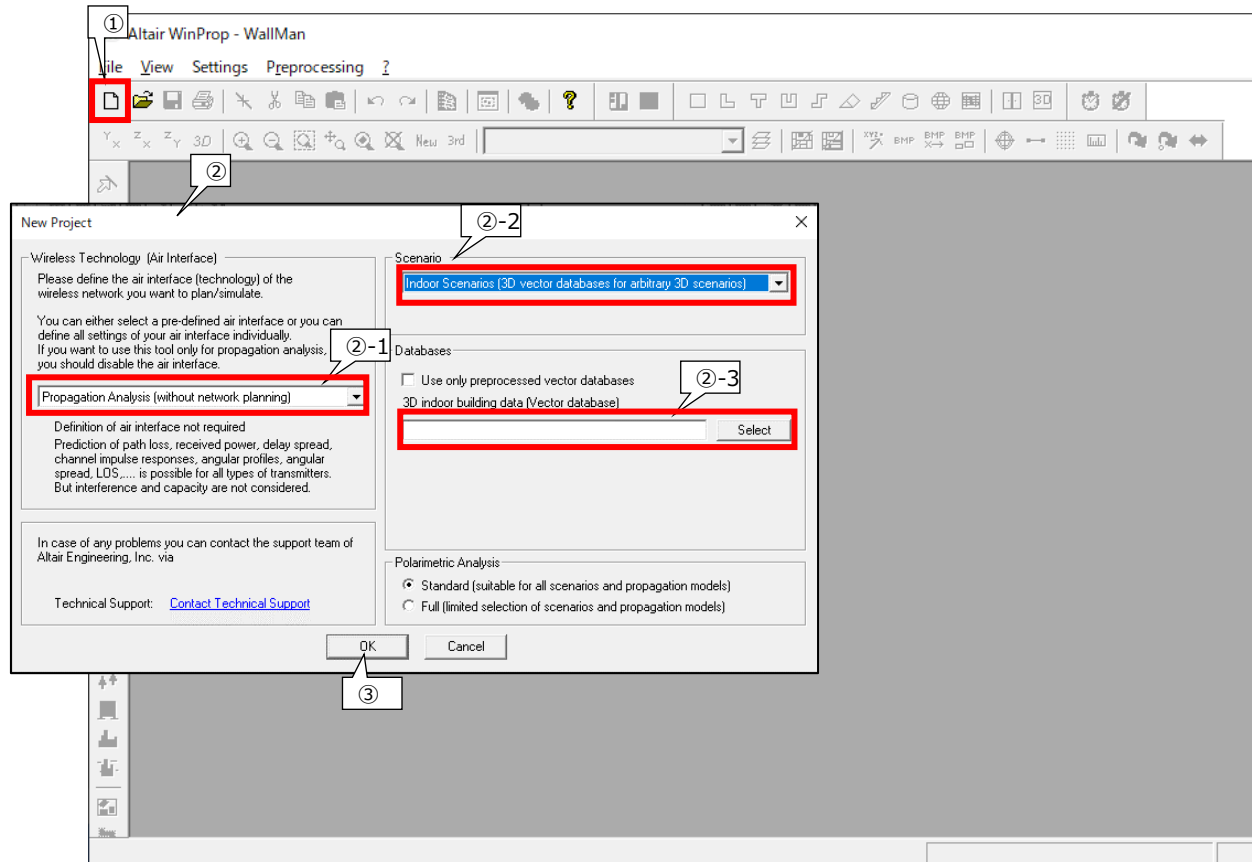
ユーザインタフェース

4) WinProp WallMan:電波伝搬シミュレーション用のデータベース作成、編集ツール 補足： STLファイル編集について

- 本実証ではSTLファイル編集を「Ⅲ.実証システム > 7. ユーザインターフェース、13) SimLab :ポリゴンデータの修正」に記載されているSimLabを用いて編集し、SLTファイルへエクスポートする。
- CityGMLファイルは地域メッシュごとにファイルが分かれている。本実証においては、建物データベース用にCityGMLファイルをそれぞれSTLファイルへ変換し、それらのSTLファイルを1個のSTLファイルにまとめる。その際、本実証対象地区外の建物に関してはSimLabの機能を利用し削除する。また、地形データベース用にはCityGMLファイルをSTLファイルへ変換し1個のSTLファイルにまとめる。
- 編集後、建物、地形それぞれSTLファイルへエクスポートする。

Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース ユーザインタフェース

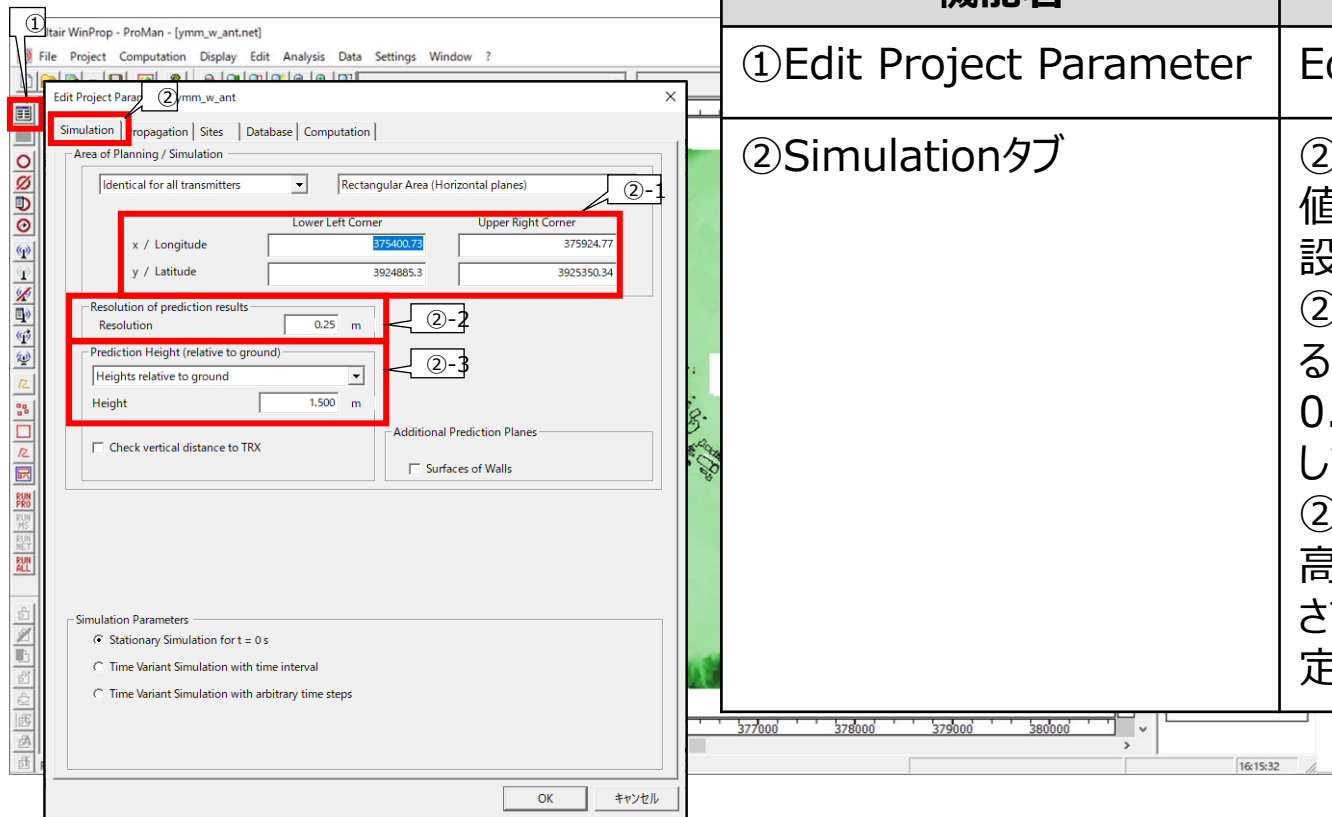
5) WinProp ProMan :電波伝搬シミュレーション設定ツール プロジェクト新規作成



| 機能名 | 説明 |
|------------------|---|
| ①New Project | 新規電波伝搬シミュレーションプロジェクトを作成する。 |
| ②New Project設定画面 | ②-1.Wireless Technologyの項目では、Propagation Analysis(without network planning)を選択する。 ②-2.Scenarioの項目では、シミュレーションのシナリオの選択をする。この実証ではIndoor Scenarioを選択する。 ②-3.Databasesの項目では前項で作成したデータベースを選択する。 |
| ③OKボタン | OKボタンをクリックすると新規プロジェクトが作成される。 |

Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース ユーザインタフェース

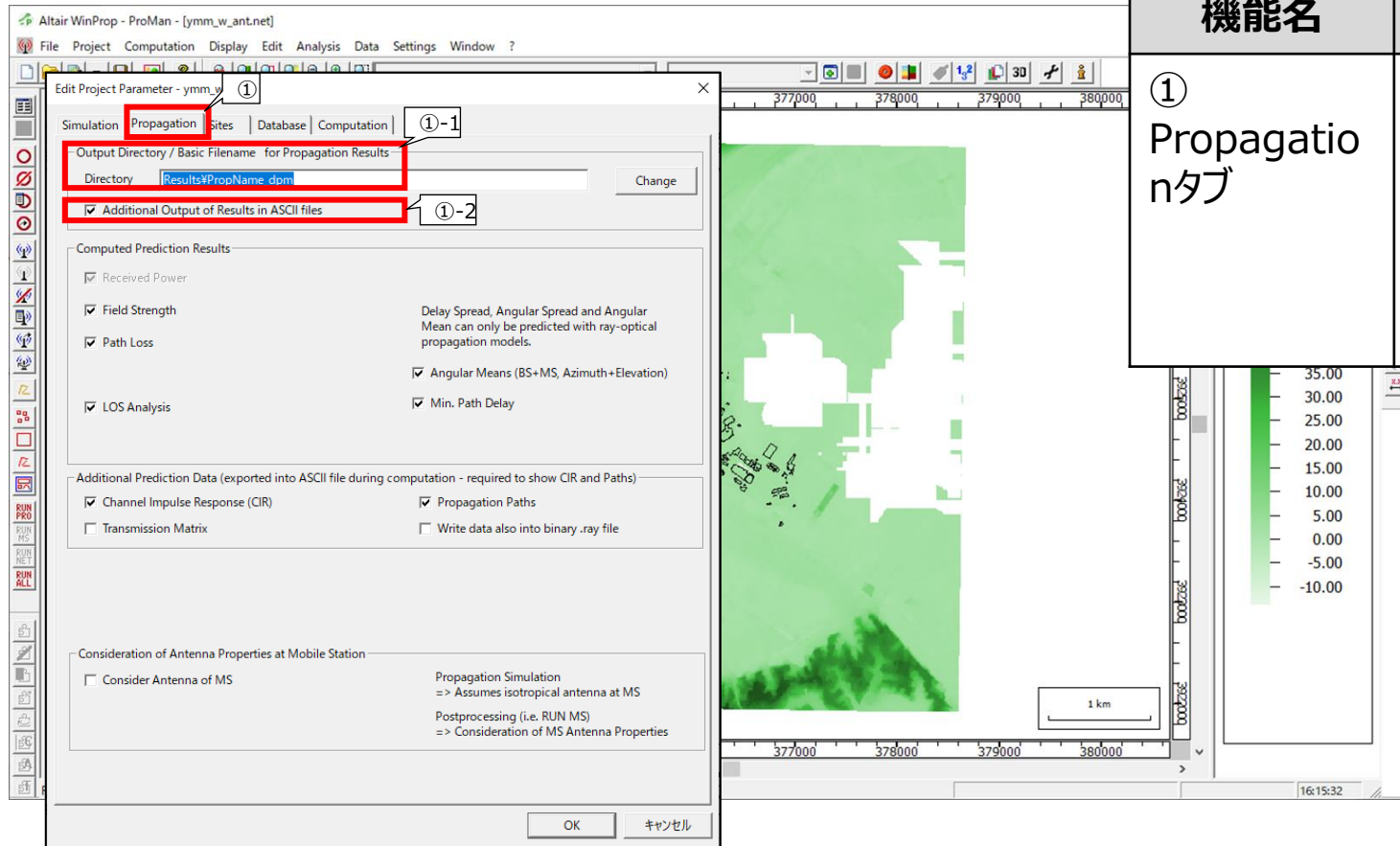
6) WinProp ProMan :電波伝搬シミュレーション設定ツール 計算領域設定



| 機能名 | 説明 |
|-------------------------|--|
| ①Edit Project Parameter | Edit Project Parameter画面が開く。 |
| ②Simulationタブ | <p>②-1.シミュレーション範囲をLower Left Conner(左下座標値)、Upper Right Conner(右上座標値)を入力することで設定する。</p> <p>②-2.Resolutionで、シミュレーションを実施する間隔を指定する。本実証では計測と比較するため、計測間隔程度の値として、0.25 mを設定したが、この値は用途に応じて0.01mを下限として任意に設定可能である。</p> <p>②-3.Prediction Heightでシミュレーション結果を取得する標高を指定する。本実証では計測と比較するため、計測器の高さである1.5 mを設定したが、この値は用途に応じて任意に設定可能である。</p> |

Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース ユーザインタフェース

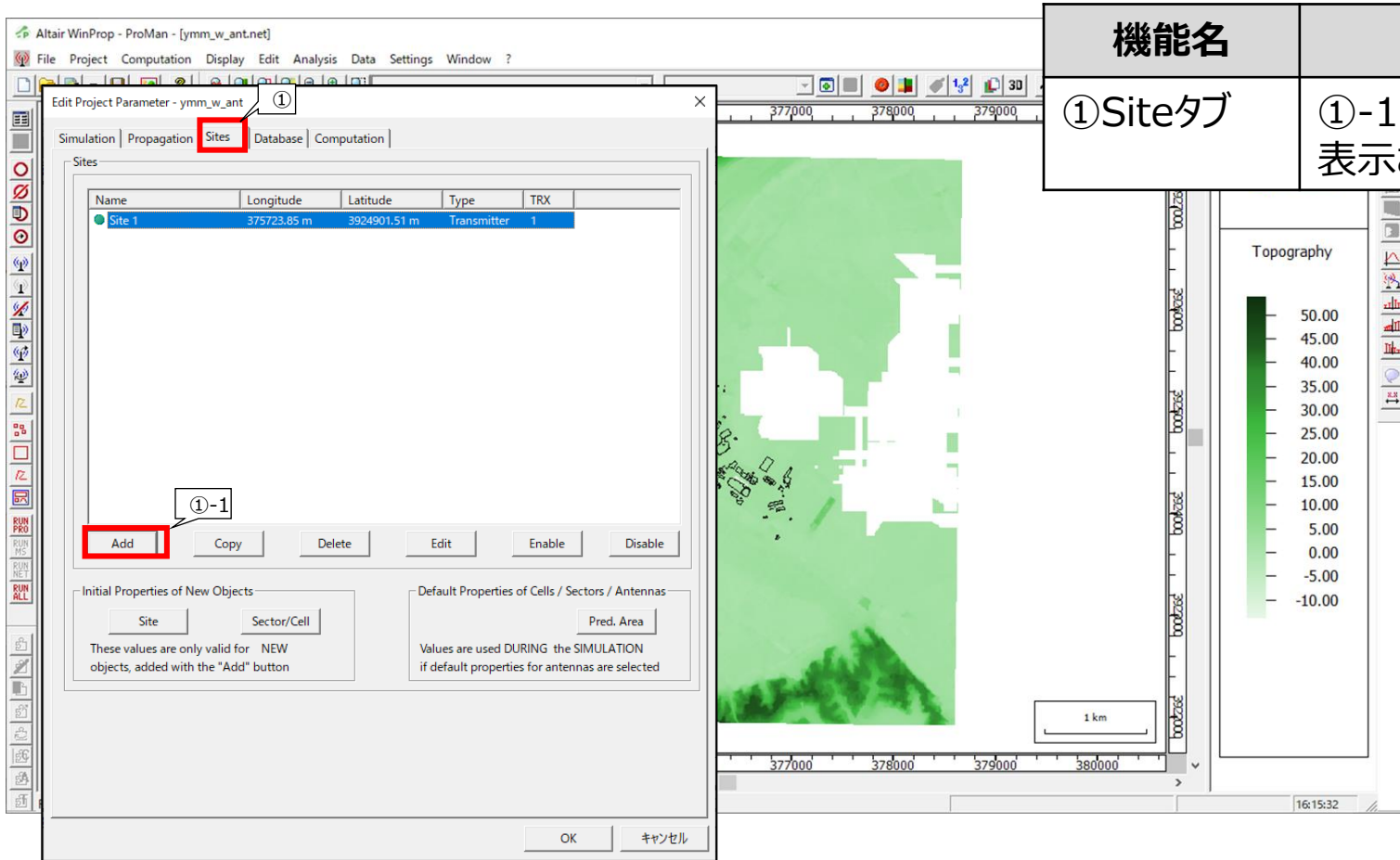
7) WinProp ProMan :電波伝搬シミュレーション設定ツール 出力結果設定



| 機能名 | 説明 |
|-----------------|--|
| ① Propagationタブ | ①-1.Directoryの項目で計算結果を保存するフォルダを指定する。 ①-2.Additional Output of Results in ASCII filesにチェックを入れ、テキスト形式で出力されるように設定する。 |

Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース ユーザインタフェース

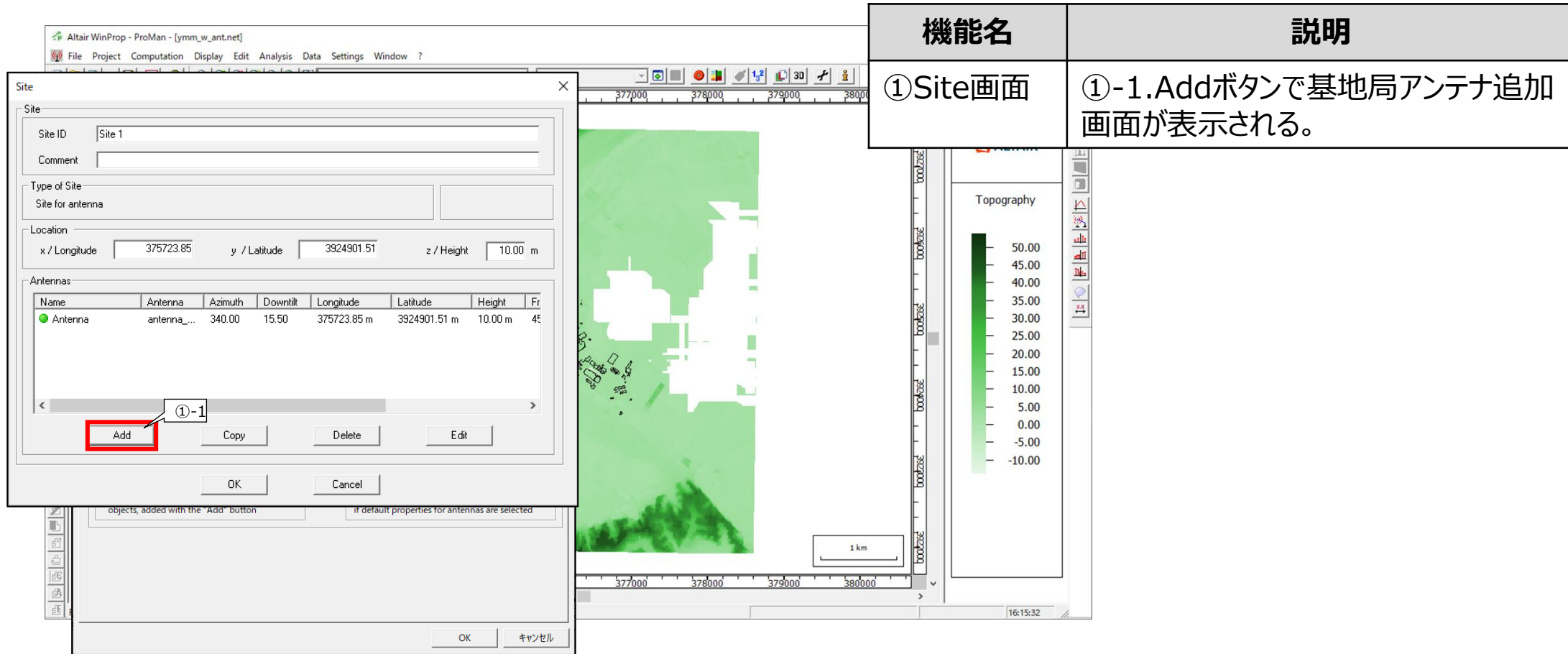
8) WinProp ProMan :電波伝搬シミュレーション設定ツール 基地局設定



| 機能名 | 説明 |
|---------|---------------------------|
| ①Siteタブ | ①-1.Addボタンで基地局追加画面が表示される。 |

Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース ユーザインタフェース

8) WinProp ProMan :電波伝搬シミュレーション設定ツール 基地局設定

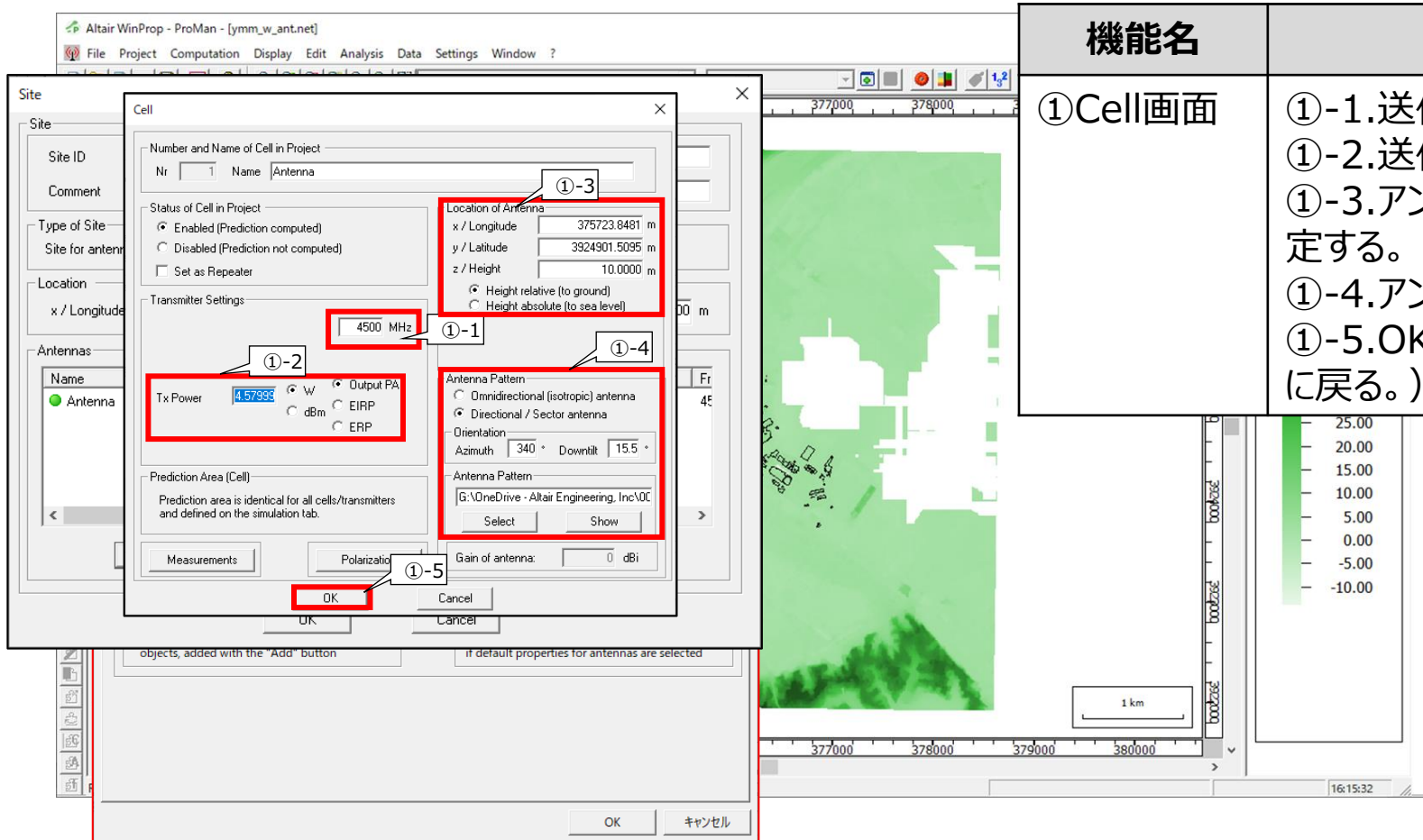


The screenshot displays the WinProp ProMan interface. A 'Site' dialog box is open, showing configuration options for a site. The 'Antennas' table contains one entry: 'Antenna' with a height of 10.00 m. The 'Add' button is highlighted with a red box and labeled '①-1'. The background shows a topography map with a 1 km scale bar and a 'Topography' legend on the right side.

| 機能名 | 説明 |
|----------|--------------------------------|
| ① Site画面 | ①-1. Addボタンで基地局アンテナ追加画面が表示される。 |

Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース ユーザインタフェース

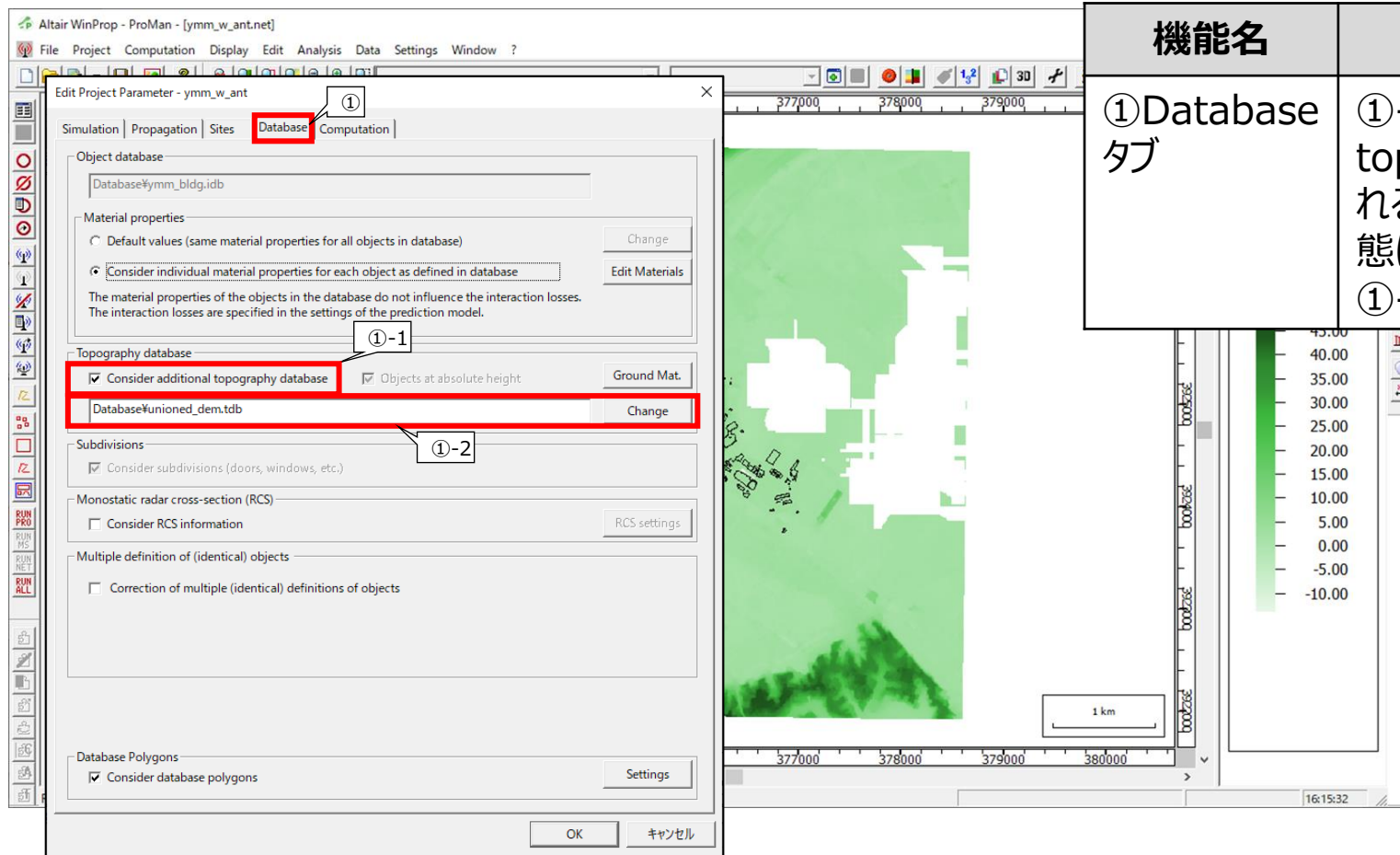
8) WinProp ProMan :電波伝搬シミュレーション設定ツール 基地局設定



| 機能名 | 説明 |
|---------|--|
| ①Cell画面 | ①-1.送信周波数の設定する。 ①-2.送信出力の設定する。 ①-3.アンテナを配置する座標値の設定する。 ①-4.アンテナ指向性の設定する。 ①-5.OKにより決定する。(Site画面に戻る。) |

Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース ユーザインタフェース

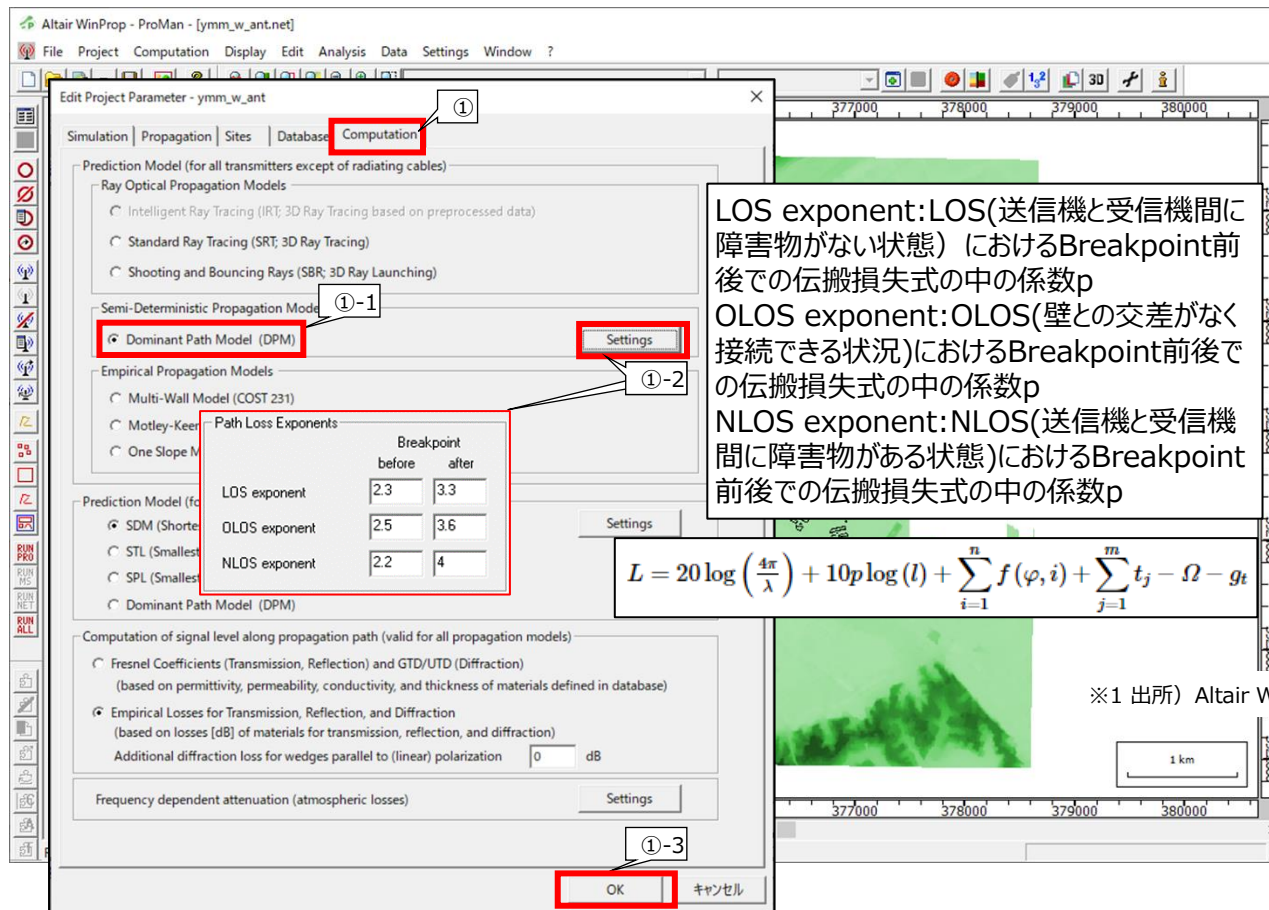
9) WinProp ProMan :電波伝搬シミュレーション設定ツール 地形データベース設定



| 機能名 | 説明 |
|------------------|--|
| ① Database タブ | <p>①-1. Consider additional topography databaseにチェックを入れると地形データベースを利用できる状態になる。</p> <p>①-2. 地形データベースを選択する。</p> |

Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース ユーザインタフェース

10) WinProp ProMan :電波伝搬シミュレーション設定ツール 計算モデル設定

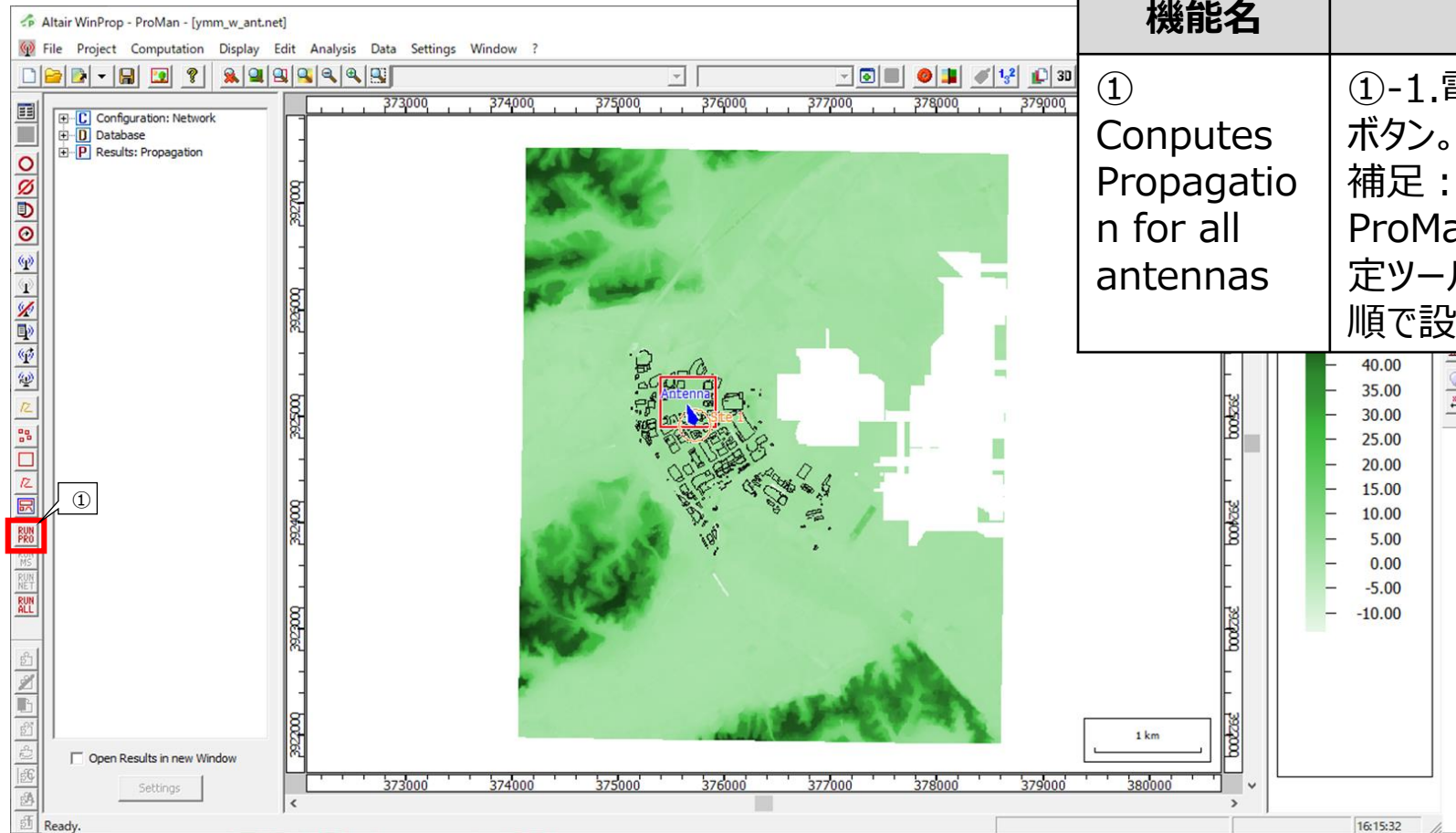


| 機能名 | 説明 |
|--------------------|---|
| ① Computationタブ | ①-1.Dominant Path Model(DPM)を選択する。 ①-2.DPMのパラメータを設定する。デフォルトではIndoorシナリオのパラメータが入っている。本実証では屋外の電波伝搬シミュレーションなので、屋外用のパラメータセット※1であるLOS before:2.3、LOS after:3.3、OLOS before:2.5、OLOS after:3.6を利用する。 ①-3.OKをクリックする。 |

※1 出所) Altair WinProp ユーザマニュアル URL:https://2022.help.altair.com/2022/hwsolvers/ja_jp/winprop/index.htm

Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース ユーザインタフェース

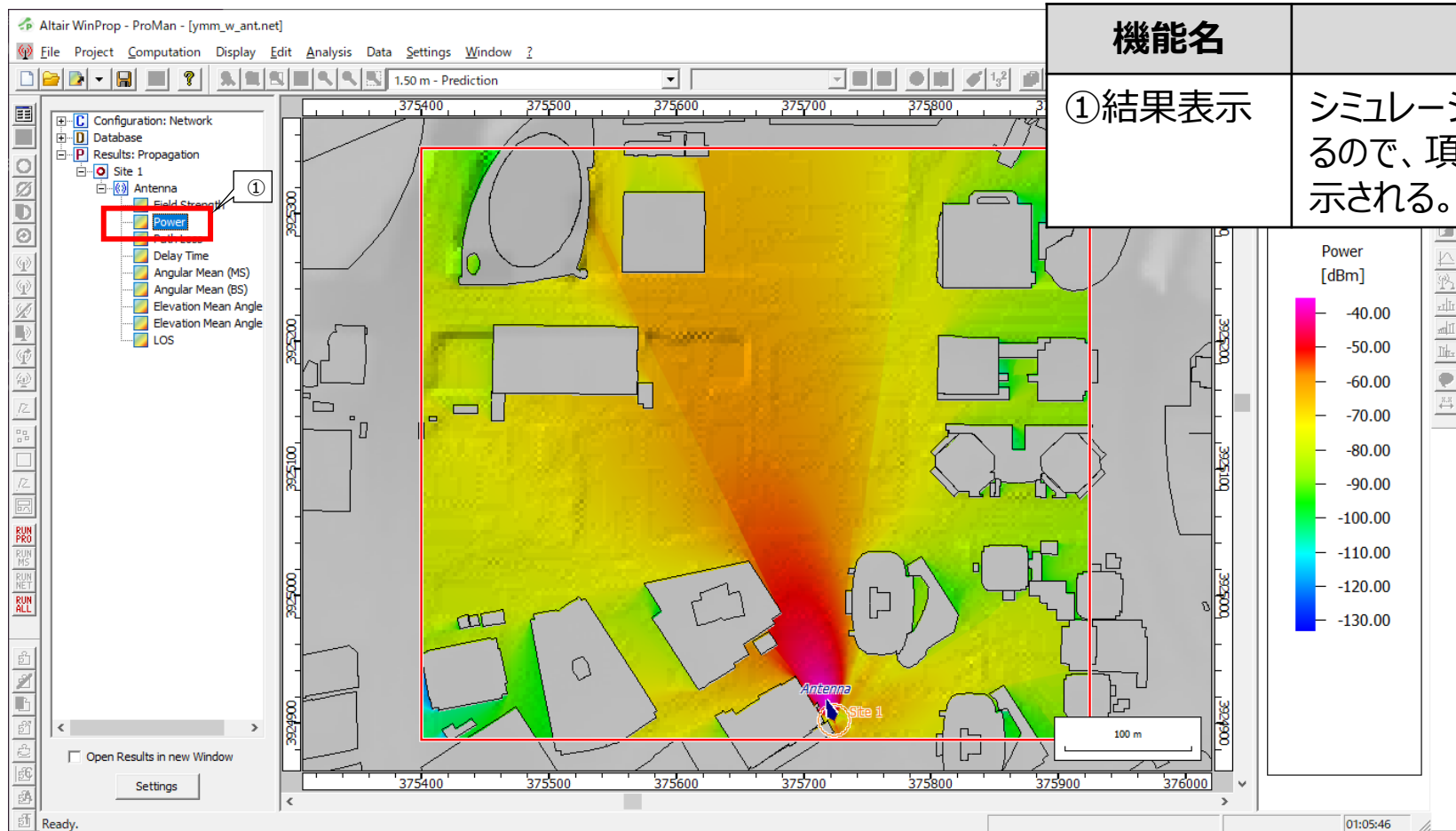
11) WinProp ProMan :電波伝搬シミュレーション設定ツール 計算実行



| 機能名 | 説明 |
|--|---|
| ① Computes Propagation for all antennas | ①-1.電波伝搬シミュレーションの実行ボタン。 補足：図中の赤枠が、「6) WinProp ProMan :電波伝搬シミュレーション設定ツール 計算領域設定」の②-1の手順で設定した計算領域を表している。 |

Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース ユーザインタフェース

12) WinProp ProMan :電波伝搬シミュレーション設定ツール 結果表示



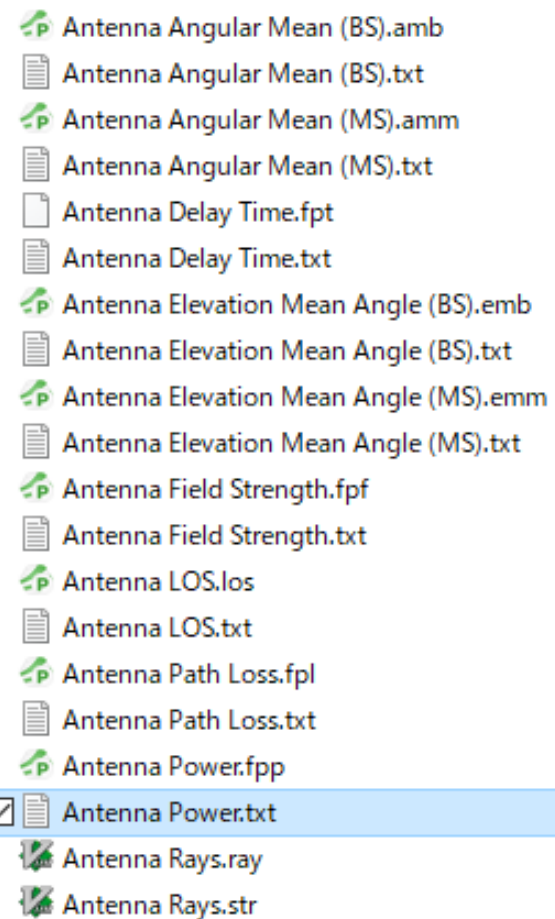
| 機能名 | 説明 |
|-------|--|
| ①結果表示 | シミュレーションの結果が一覧として現れるので、項目を選択することで結果が表示される。 |

Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース

ユーザインタフェース

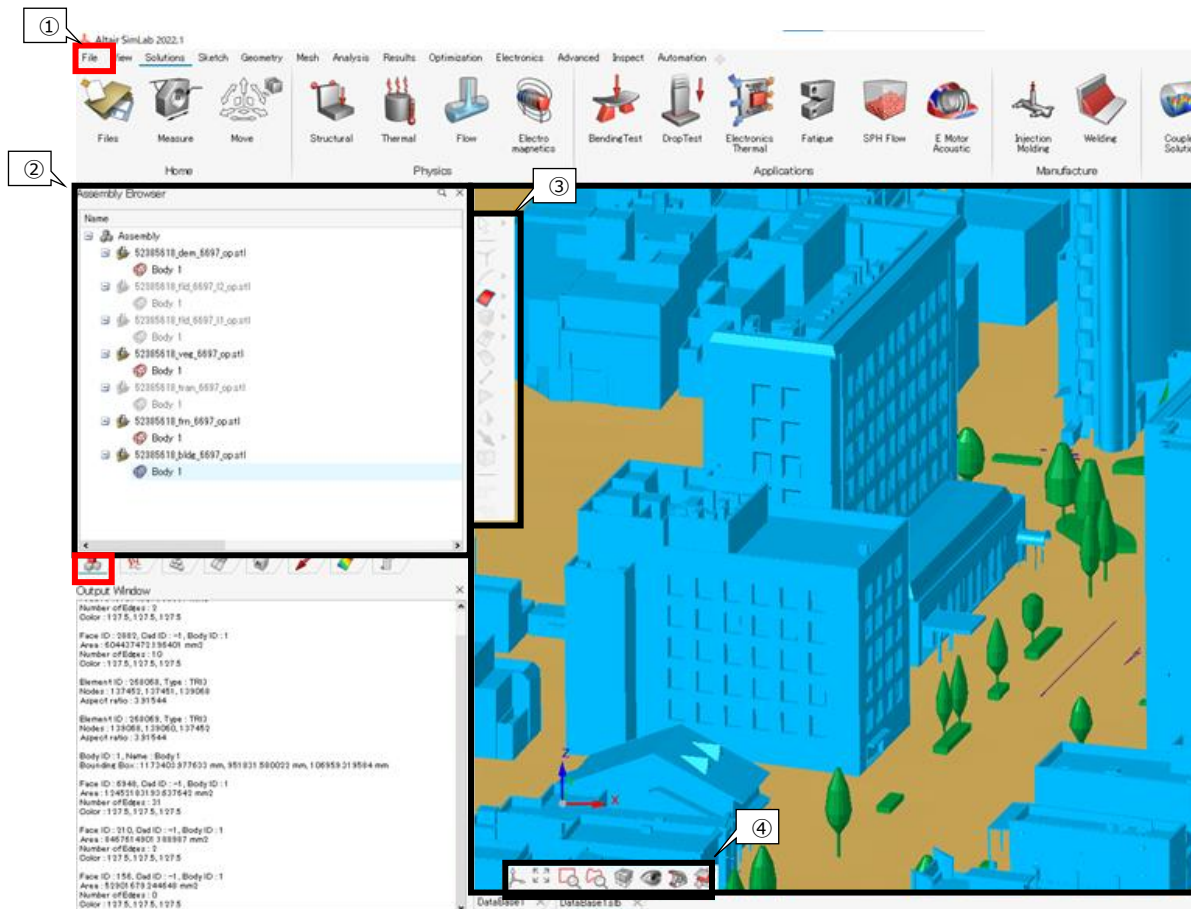
12) WinProp ProMan :電波伝搬シミュレーション設定ツール 結果表示

- 指定したフォルダにテキスト形式で結果が保存されている。



Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース ユーザインタフェース

13) SimLab :ポリゴンデータの修正



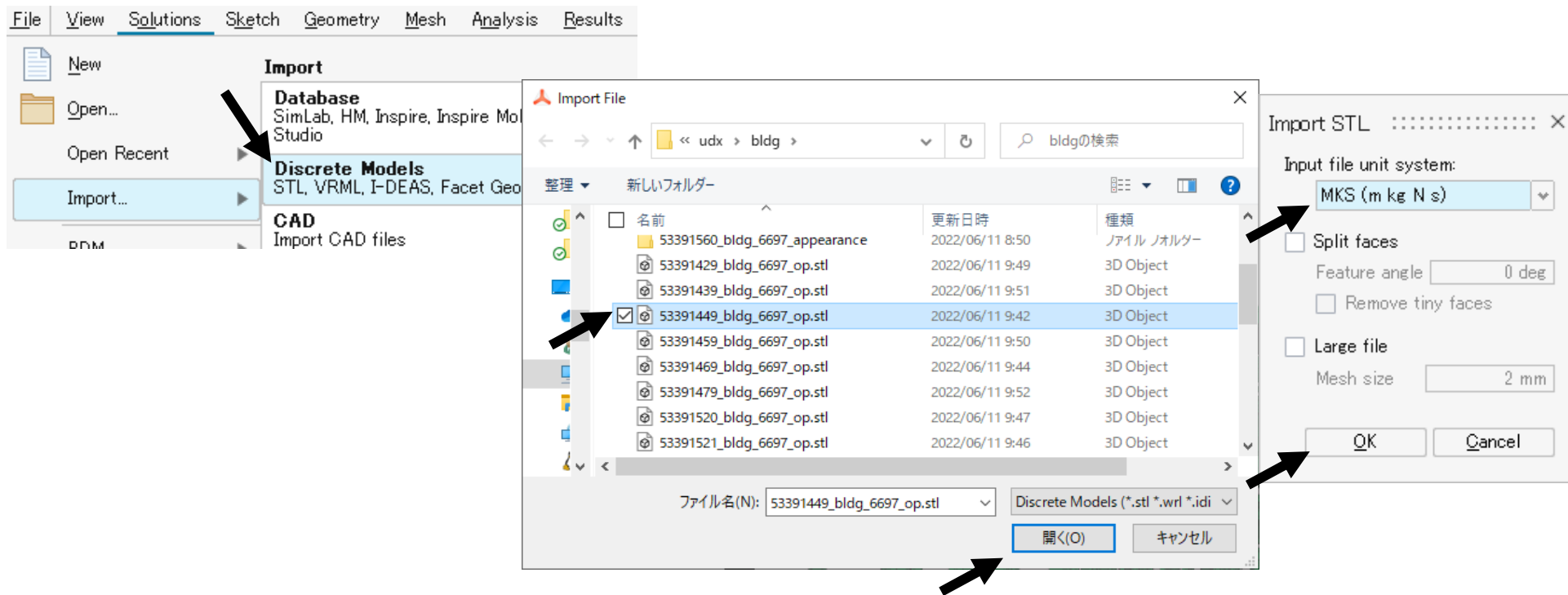
| 機能名 | 説明 |
|---------------------|---|
| ①Fileメニュー | STLファイルを選択し、ポリゴンデータをSimLabにインポートする。編集後、STLファイルをエクスポートする。 |
| ②Assembly Browser | 読み込んだモデル（当実証ではインポートしたSTLファイルに記載されているポリゴンモデル。）が一覧表示される。表示/非表示や選択/解除などがおこなえる。 |
| ③Selection Tool bar | どのエンティティ(バーテックス、エッジ、フェイス、ボディ等。)タイプを選択するかを設定する。 |
| ④View Tool bar | 視点設定、モデル全体表示などよく使う機能がまとまっている。 |
| ⑤Graphics window | ジオメトリやメッシュなどが3D表示される領域。 |

Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース

ユーザインタフェース

14) SimLab :ポリゴンデータの修正 STLファイルのインポート

- File > Import... から、Discrete Modelsを選択する。
- ファイルブラウザが開くので、読み込むSTLファイルを選択して開くをクリックする。
- STLファイルに記載されているデータの単位系を聞かれるので、メートル系を選択し、OKをクリックする。

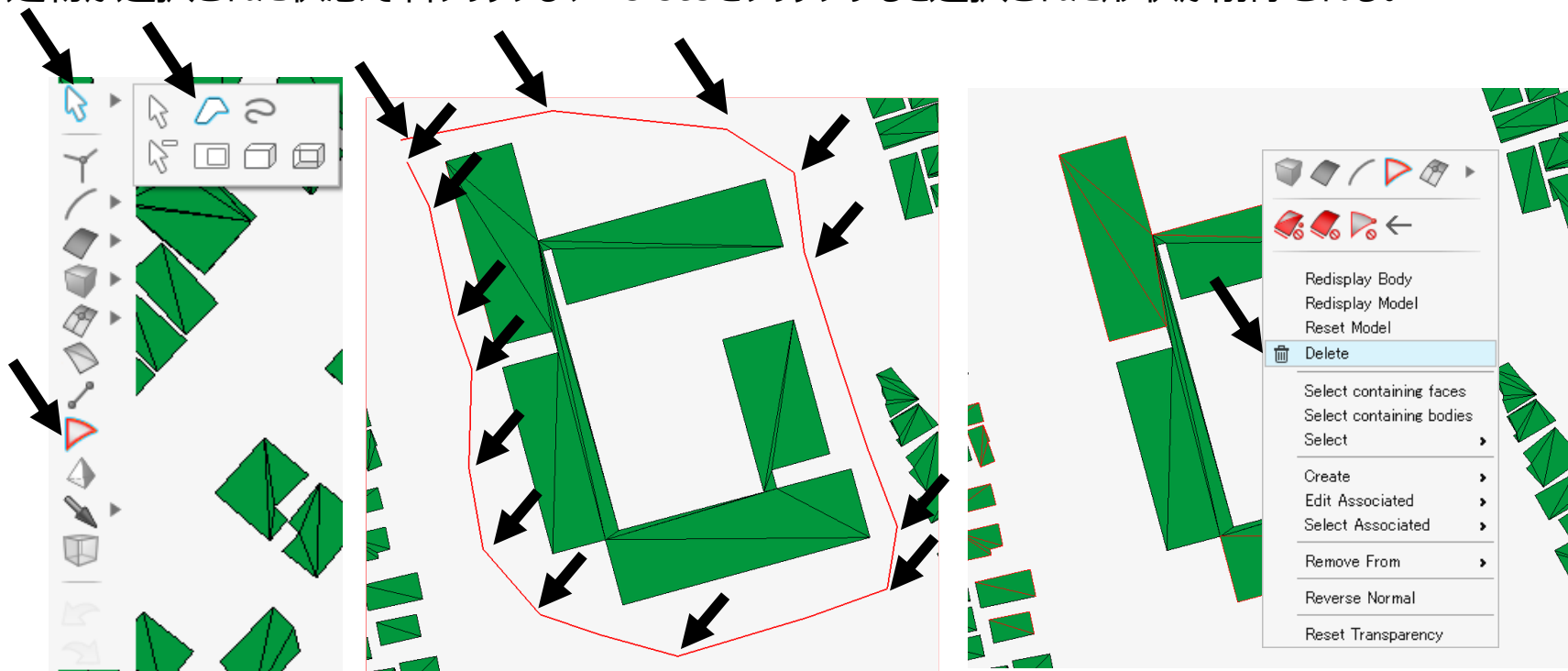


Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース

ユーザインタフェース

15) SimLab :ポリゴンデータの修正 不要な形状の削除方法

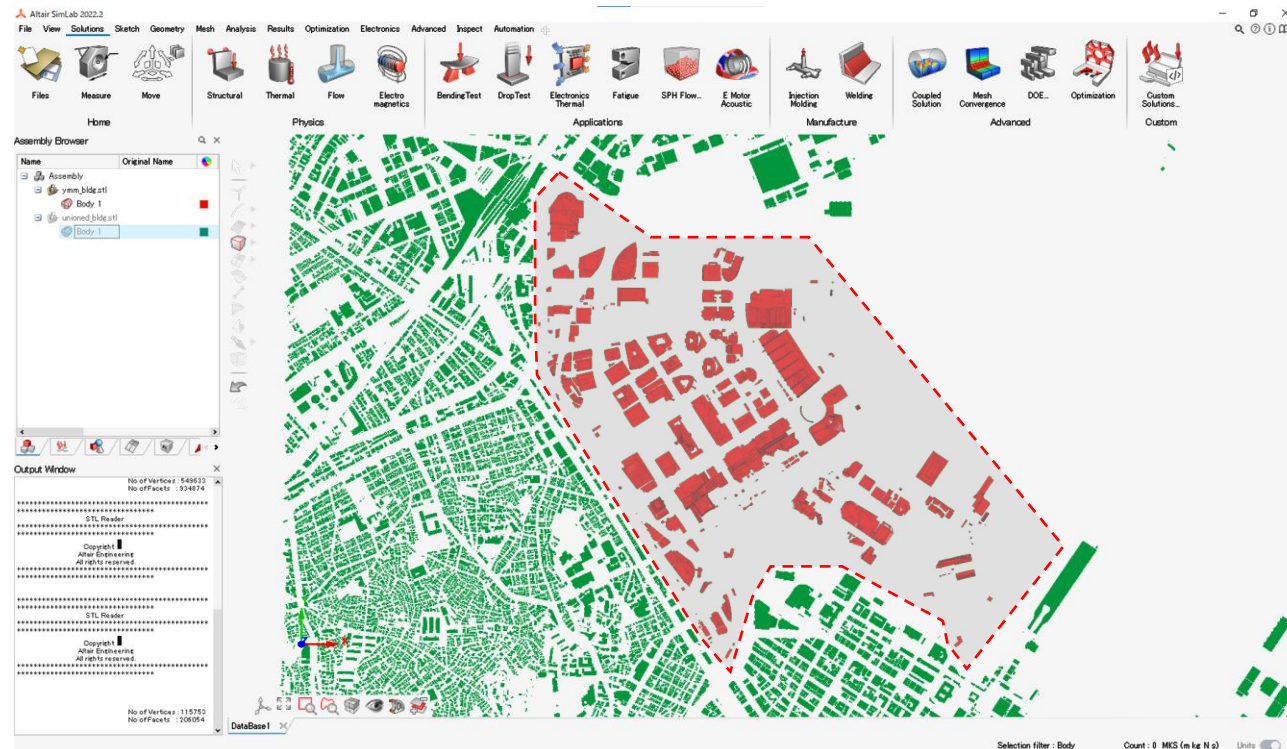
- セレクションツールバーから要素選択と、ポリゴン選択をクリックする。
- 不要な建物を取り囲むようにクリックしていくと図のように線が表示される。始点に戻ってくると、囲まれた形状が選択された状態になる。
- 建物が選択された状態で右クリックし、Deleteをクリックすると選択された形状が削除される。



Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース ユーザインタフェース

16) SimLab :ポリゴンデータの修正 本実証でシミュレーションモデルに適用した建物の範囲

- 本実証では下図に示す、みなとみらい地区内の赤い建物を電波伝搬シミュレーションモデルに適用し、それ以外の建物を削除する。
- 計算負荷低減の目的で、本実証においては電波伝搬シミュレーションを実施する領域が、みなとみらい地区内のみであることから、それ以外の建物は不要であると判断して削除することとした。

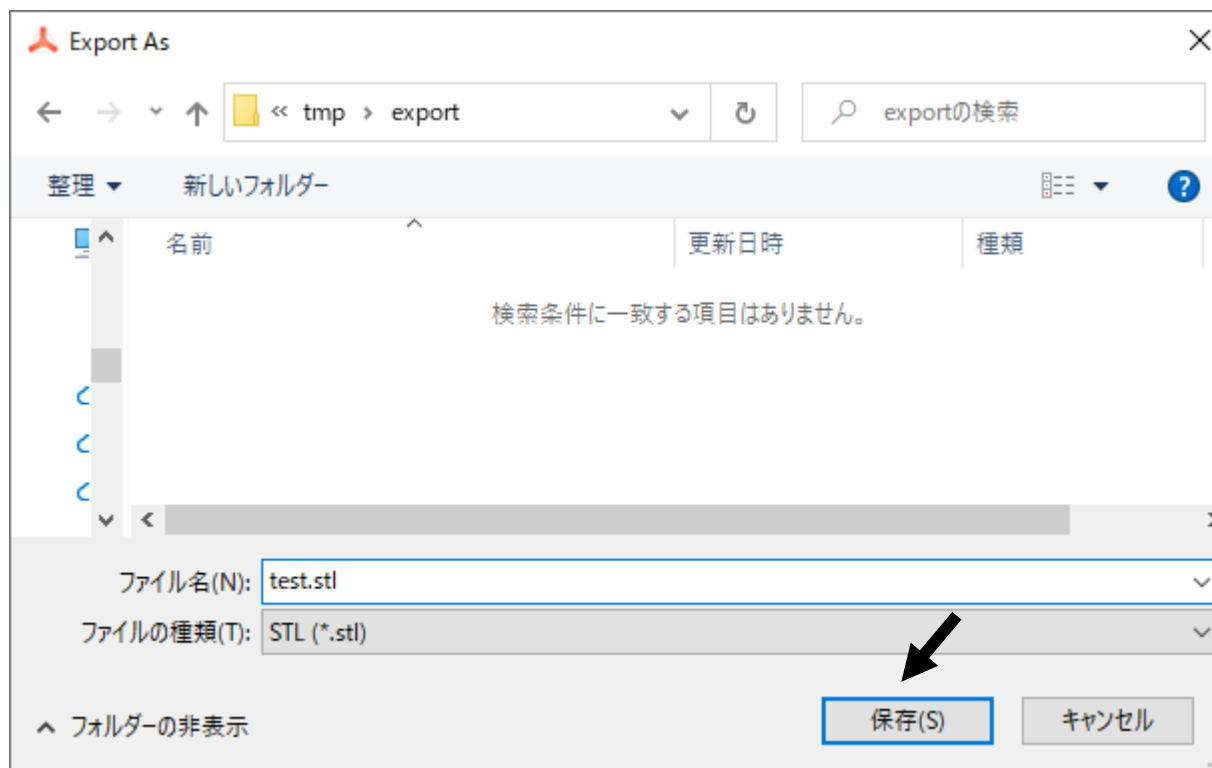
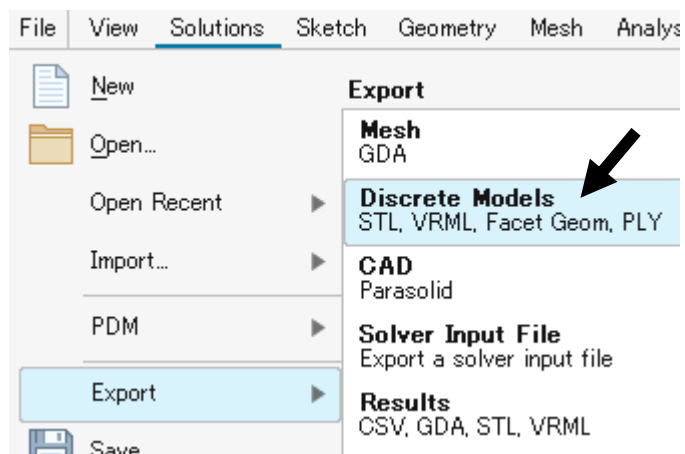


Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース

ユーザインタフェース

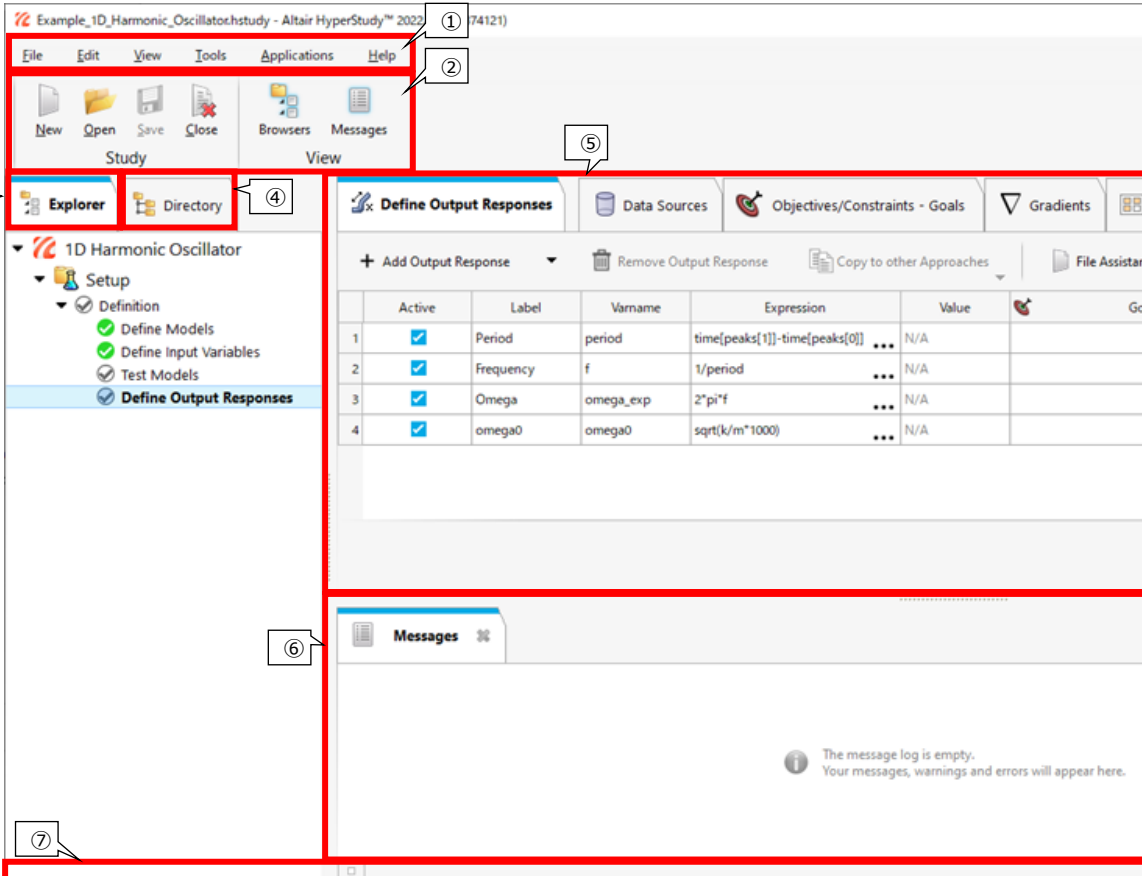
17) SimLab :ポリゴンデータの修正

- File > Export から、Discrete Modelsをクリックする。
- ファイルブラウザが立ち上がるので、保存したいファイル名を入力し、保存をクリックする。



Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース ユーザインタフェース

18) HyperStudy : 基地局配置の最適化



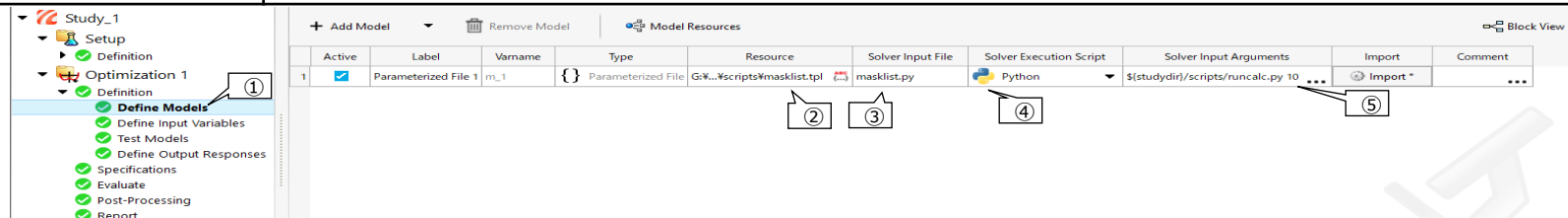
| 機能名 | 説明 |
|----------------------|--|
| ① Menu Bar | ファイル管理操作、システム設定、ヘルプなどの標準機能へのアクセスを提供するプルダウンメニューが含まれている。 |
| ② Ribbons | ツールや標準機能へアクセスできる。 |
| ③ Explorer | セットアップとアプローチの階層ビュー。 |
| ④ Directory | スタディのフォルダ内のファイルを表示。 |
| ⑤ Work Area | 入力変数、出力応答などを設定する領域。 |
| ⑥ Message Log Window | 警告とエラーが記録される領域。 |
| ⑦ Status Bar | 補足情報が表示される領域。 |

Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース

ユーザインタフェース

19) HyperStudy : 基地局配置の最適化 最適化するためのモデルの設定

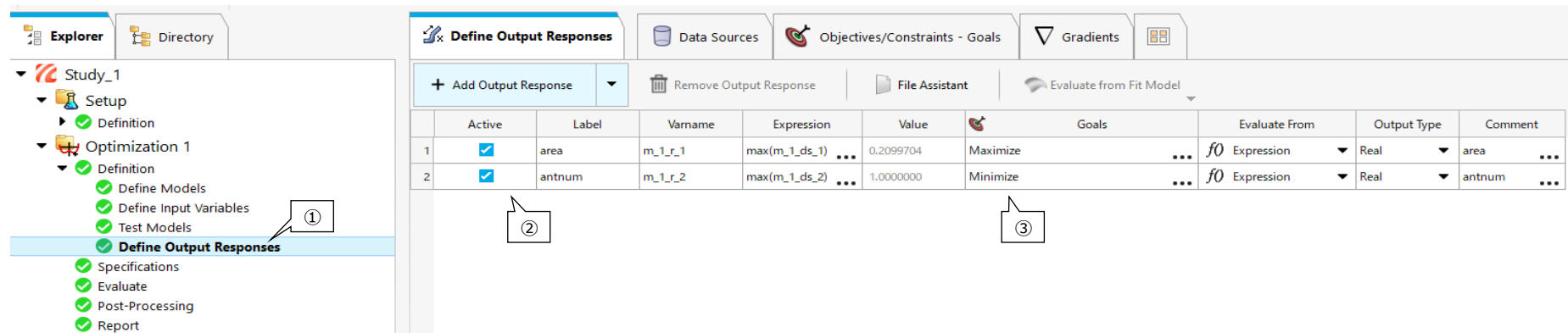
| 操作 | 説明 |
|---|---|
| ①「Define Models」をクリックする。 | 最適化するためのモデルを設定する。モデルとは、最適化するときに行う個々のシミュレーション、計算、処理などを指している。 |
| ②「Resource」をクリックし、リソースファイルを選択する。 | リソースファイルは、HyperStudyへの接続を確立するためのファイルで、入力変数に関する情報が記載される。本実証では、基地局のON(1)、OFF(0)を定義する源となるファイル。具体例を次頁以降に示す。 |
| ③「Solver Input File」に「masklist.py」と入力する。 | HyperStudyにより、②のリソースファイルから自動的に生成されるファイル。本実証では、各基地局のON(1)、OFF(0)羅列されたファイル。具体例を次頁以降に示す。 |
| ④「Solver Execution Script」で「Python」を選択する。 | 最適化の実施に利用するソルバを選択する。本実証ではPythonにより記載されたプログラムが実行されるので、「Python」を選択する。 |
| ⑤「Solver Input Arguments」で、 $\${studydir}/scripts/runcalc.py$ 10 と入力する。 | 実行コマンドを記載する。 $\${studydir}$ は、最適化プロジェクトのフォルダの保存場所を表しており、その保存場所にあるscriptsフォルダ内のruncalc.pyを指定している。10は電波発射をする基地局の上限の基地局数を設定している。この値は、実際に基地局を何基まで配置できるかによって決まる。本実証においては10基を配置できる基地局の上限数として設定した。 |



Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース ユーザインタフェース

22) HyperStudy : 基地局配置の最適化 出力応答値の設定

| 操作 | 説明 |
|---------------------------------------|--|
| ①「Define Output Responses」をクリックする。 | 最適化をおこなう出力応答値の設定を実施する。 |
| ②表示されている二つ出力応答値の「Active」の項目にチェックを入れる。 | 「area」と「antnum」というラベルの出力応答値が表示されるので、両方にチェックを入れる。「area」は電波のカバーエリアの割合を表し、「antnum」は基地局の数を表している。 |
| ③「Goals」でそれぞれの出力応答値が目指すゴールを指定する。 | 本実証では「area」は最大化、「antnum」は最小化をゴールとして最適化を実施する。これはできるだけ少ない数の基地局の数で、電波カバーエリアを最大化するという意味である。 |



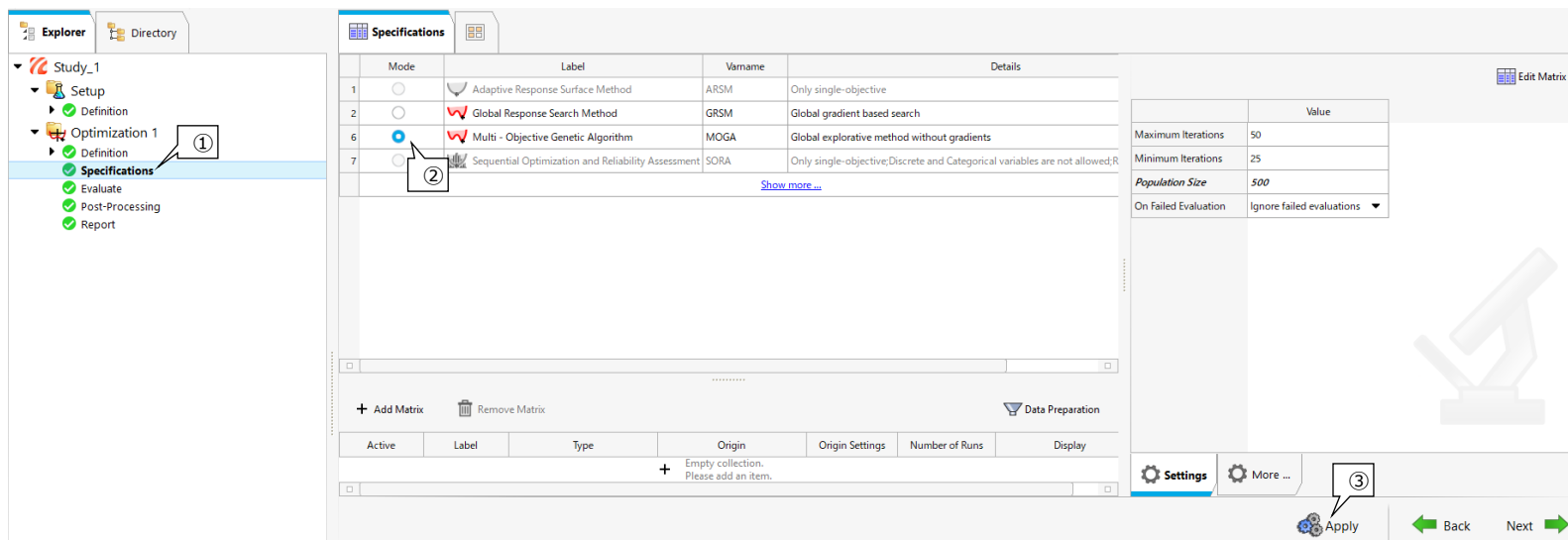
| Active | Label | Vaname | Expression | Value | Goals | Evaluate From | Output Type | Comment |
|-------------------------------------|--------|---------|-------------------|-----------|----------|---------------|-------------|------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | area | m_1_r_1 | max(m_1_ds_1) ... | 0.2099704 | Maximize | f0 Expression | Real | area ... |
| <input checked="" type="checkbox"/> | antnum | m_1_r_2 | max(m_1_ds_2) ... | 1.0000000 | Minimize | f0 Expression | Real | antnum ... |

Ⅲ. 実証システム > 7. ユーザインタフェース

ユーザインタフェース

23) HyperStudy : 基地局配置の最適化 最適化の設定

| 操作 | 説明 |
|--|---|
| ①「Specifications」をクリックする。 | 最適化の設定を実施する。 |
| ②「Multi - Objective Genetic Algorithm」をクリックする。 | 当実証では基地局からの電波のON、OFFという変更になり、勾配を利用した方法が適さないため、遺伝的アルゴリズムを利用する。 |
| ③「Apply」をクリックする。 | 最適化計算が実行される。 |



The screenshot displays the HyperStudy software interface. On the left, the 'Explorer' pane shows a tree view with 'Study_1' expanded, and 'Specifications' selected under 'Optimization 1'. A callout box with the number 1 points to this selection. The main 'Specifications' pane shows a table of optimization methods:

| Mode | Label | Varname | Details |
|----------------------------------|--|---------|--|
| <input type="radio"/> | Adaptive Response Surface Method | ARSM | Only single-objective |
| <input type="radio"/> | Global Response Search Method | GRSM | Global gradient based search |
| <input checked="" type="radio"/> | Multi - Objective Genetic Algorithm | MOGA | Global explorative method without gradients |
| <input type="radio"/> | Sequential Optimization and Reliability Assessment | SORA | Only single-objective; Discrete and Categorical variables are not allowed; R |

A callout box with the number 2 points to the 'Multi - Objective Genetic Algorithm' row. To the right, the 'Details' pane shows configuration options:

| | Value |
|----------------------|---------------------------|
| Maximum Iterations | 50 |
| Minimum Iterations | 25 |
| Population Size | 500 |
| On Failed Evaluation | Ignore failed evaluations |

At the bottom of the interface, there is an 'Apply' button with a callout box containing the number 3, and 'Back' and 'Next' navigation buttons.

Ⅲ. 実証システム > 8. システムテスト結果

システムテスト結果

| 試験項目 | 確認内容 | 結果 |
|--------------------|---|----|
| 3D都市モデルのインポート | 3D都市モデルをAltair WinProp WallManへインポート可能なことを確認する。 | ○ |
| 3D都市モデルのデータベースへの変換 | Altair WinProp WallManにインポートした3D都市モデルをデータベースへ変換可能なことを確認する。 | ○ |
| 電波伝搬シミュレーション | 3D都市モデルをもとにしたデータベースを利用し、電波伝搬シミュレーションが可能なことを確認する。 | ○ |
| シミュレーション結果の出力 | 3D都市モデルをもとにしたデータベースを利用し、電波伝搬シミュレーションを実施した結果ファイルが出力されることを確認する。 | ○ |

I. 実証概要

II. 実証技術の概要

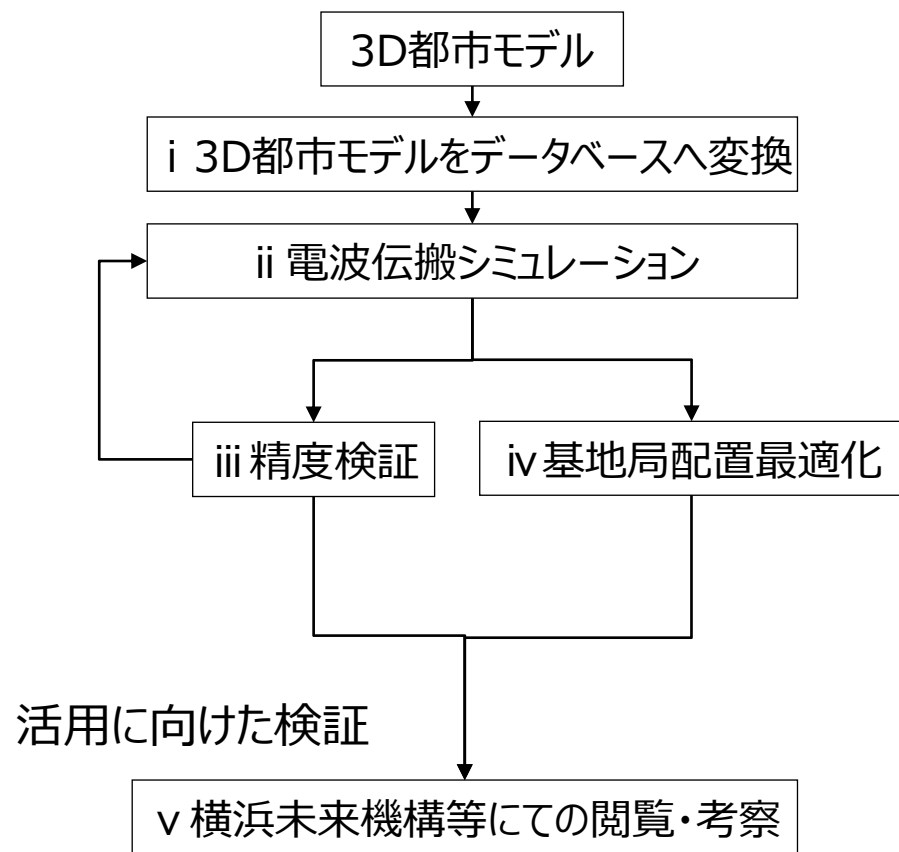
III. 実証システム

IV. 実証技術の検証

V. 成果と課題

IV. 実証技術の検証 > 1.システム検証

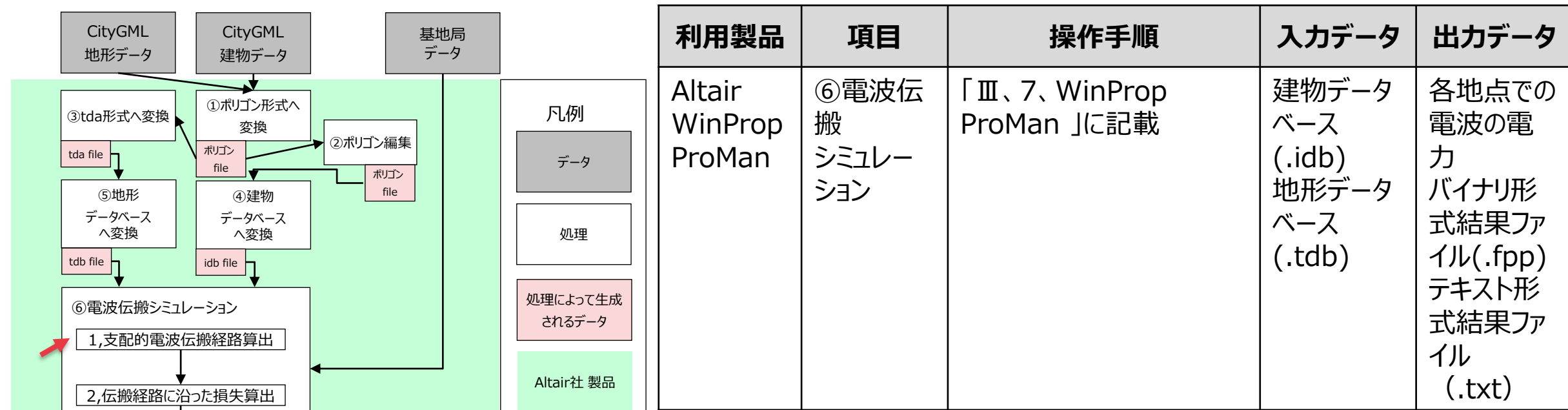
① 検証内容 | 全体フロー



- i. 3D都市モデルをデータベースへ変換：
3D都市モデルを電波伝搬シミュレーション用のデータベースへ変換する。
- ii. 電波伝搬シミュレーション：
WinPropを利用して電波伝搬シミュレーションを実施する。
- iii. 精度検証：
ii で得られた結果と電波を実測した結果とを比較、検証する。
- iv. 基地局配置最適化：
ii で得られた結果から最適な基地局配置を最適化ツールであるHyperStudyを用いて検討する。
- v. 横浜未来機構等にての閲覧・考察：
横浜未来機構正会員向け5Gセミナーvol.3での発表と、通信事業者を交えたディスカッションを実施する。

IV. 実証技術の検証 > 1.システム検証

① 検証内容 | 電波伝搬シミュレーション



処理内容

送信機から各受信箇所へ到達する可能性のある経路算出をおこない、最も損失の少ない支配的な経路に沿った伝搬解析を実施する。一度に計算できる送信機の数にはプログラム側では制限がなく、プログラムの実行環境に依存する。本実証では最大で12224機の送信機を設定して計算する。電波伝搬のパラメータとして、Path loss exponent(受信点から送信機が見通せるか見通せないか等に依存する係数)の設定を屋外用のパラメータセットに変更して計算を実施する。具体的な数値については「ユーザインタフェース」の章に記載した。

IV. 実証技術の検証 > 1.システム検証

① 検証内容 | 精度検証

- 電波伝搬シミュレーションにより算出した受信電力強度の検証にあたっては、みなとみらい地区41街区北区画にある横浜メディアタワー敷地内に配置した移動基地局車からの電波強度を実測したデータと比較することで、「I 1.全体概要」の検証ポイントの項目である、「予想受信電力（シミュレーション結果）の精度の検証する。」について検討する。
- 実測は2022年11月16日と17日に実施した。事前に電波伝搬シミュレーションを実施した範囲中、人が歩行可能な領域でRohde&Schwarz製エリアテスタを活用し、徒歩により計測を実施した。

表 精度検証用基地局諸元

| 基地局諸元 | 値 |
|-----------|---|
| 位置情報 | 住所：神奈川県横浜市西区みなとみらい4-7-3 横浜メディアタワー敷地内 緯度：35度 27分 35.43秒 経度：139度37分49.55秒 |
| 電波周波数 | 5G：4.5GHz |
| 送信電力 | 4580mW |
| アンテナの設定角度 | Down tilt:15.5度 Azimuth 340度(北を0度としたとき) |
| アンテナ高 | 地面から10m |

IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

① 検証内容 | 基地局配置最適化

- 各基地局(アンテナ)の配置候補場所(764箇所)でそれぞれ、東西南北向き(4パターン)と、各ダウンチルト角(0°, 20°, 40°, 60°の4パターン)で、合計12224回の電波伝搬シミュレーションをWinProp で実施し、この12224通りのシミュレーション結果を利用し、最適化をHyperStudyで実施する。
- アンテナの配置候補場所は「Ⅲ.6.①. 活用データ 基地局の配置候補場所」に記載したように照明灯への取り付けを想定し、その位置を利用する。
- アンテナの水平方向の向き、およびダウンチルトの設定範囲については、取付の可能性のある範囲から選択し、代表的な方向(東西南北)と角度(0/20/40/60°)を設定した。

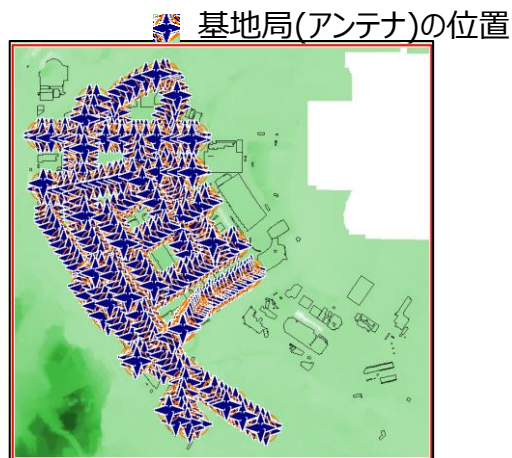


図 基地局配置候補場所

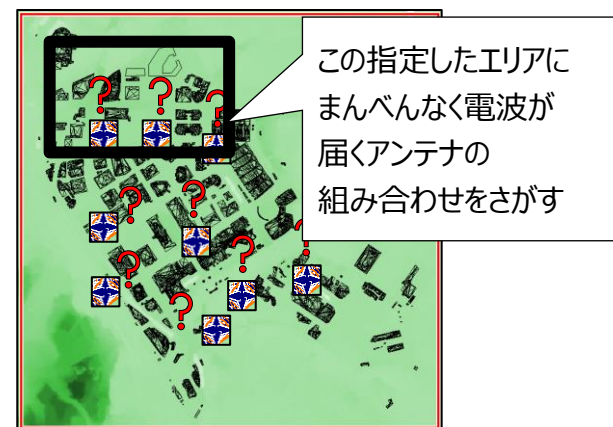


図 基地局配置最適化の概略

IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

① 検証内容 | 基地局配置最適化

- 電波伝搬シミュレーションにより算出した受信電力強度の結果から最適な基地局配置をAltair HyperStudyを用いて検討する。最適化のために必要な設計変数、目的関数は下記表の通りに設定する。
- 複数の基地局の場合の各地点での受信電力の算出方法としては、各基地局からの電波の広がりをそれぞれ重ね合わせ、同一地点でより大きい値をその地点での受信電力の値とした。(下左図)
- 最適化アルゴリズムには遺伝的アルゴリズムを適用する。

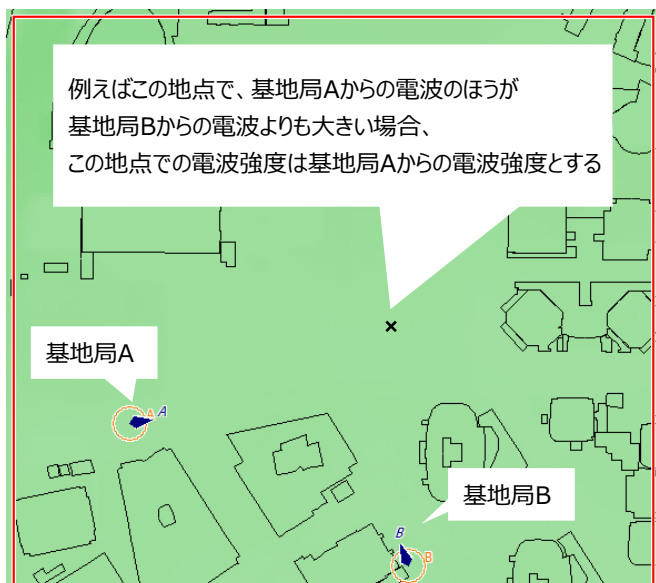


表 最適化諸元

| 設定項目 | 値と説明 |
|------|---|
| 設計変数 | 各基地局からの電波のON,OFFを設計変数とする。 |
| 目的関数 | 受信電力が -84.6 dBm (※1)以上となる領域の割合(電波カバー率)を最大化および、ONの基地局の数(設置し、稼働する基地局の数)の最小化を達成すべき目的関数として設定する。 |

図 複数の基地局の場合の各地点での受信電力の考え方

※1 出所) 電波法関係審査基準 URL https://www.soumu.go.jp/main_content/000711787.pdf

IV. 実証技術の検証 > 1.システム検証

① 検証内容 | 横浜未来機構等にての閲覧・考察

- 下記二件のセミナー、打ち合わせにより本実証にて実施した3D都市モデルを利用した電波伝搬シミュレーションについての有効性についてを議論し、「I 1.全体概要」の検証ポイント2の項目について検討する。
1. 2022年11月17日実施、横浜未来機構正会員向け5G セミナーvol.3での発表とヒアリング。
 2. 2022年12月9日実施、基地局配置検討にかかわる事業者への発表とヒアリング。

横浜未来機構5Gセミナー

横浜未来機構で実施する3D都市モデル「PLATEAU」を用いた5G電波伝搬シミュレーション、及び5Gを活用した実証実験をEdgeTech+2022ご第100の方に限定でご覧いただけます。

5Gエリアを構築する手法（シミュレーションを活用した設計）が、設計エリアに於ける5Gユーザーを考慮するプログラムとなります。横浜みなとみらい21地区で実際に実証実験を行う機会となりますので、ご興味ある方はぜひお申し込みください。

※ 9/12セミナー参加者は「EdgeTech+2022」のご参加が必須となります。

※ 「EdgeTech+2022」と「横浜未来機構5Gセミナー」の両方は併行しますので、ご注意ください。

5Gの電波伝搬シミュレーションイメージ



開催概要

| | |
|-------|---|
| 日時 | 2022年11月17日（水）13:00-14:20（受付開始12:30） |
| 場所 | 横浜メディアタワー1F（神奈川県横浜市中区みなとみらい14-73） MAP |
| 定員 | 50名 |
| 主催 | 横浜未来機構（一般社団法人横浜みなとみらい21） |
| 協力 | 株式会社ドコモビジネスソリューションズ、アルデアエンシニアリング株式会社 |
| プログラム | 横浜みなとみらい21地区の5Gの取り組み 3D都市モデルを活用した5G電波伝搬シミュレーションについて 見学、デモ |

図 横浜未来機構正会員向け5G セミナーvol.3 告知ページ※

※1 出所）EdgeTech+ 2022 オープンイノベーション特集 URL https://www.jasa.or.jp/expo/open_innovation_sp/

IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

② 検証結果 | 精度検証

- 「IV 1. システム検証 検証内容 精度検証」に記載したとおり、電波伝搬シミュレーションと実測との比較を行った。
- 下のグラフは横軸は計測地点の番号（時刻順）、縦軸は電波強度 (dBm) を表している。青線が計測結果、オレンジ色線がシミュレーション結果を表している。計測結果だけに注目した場合でも同一地点において電波強度が ± 10 dB以上の変動がある箇所もあるが、シミュレーション結果はおおむねその変動の範囲内に収まっていることが確認できる。

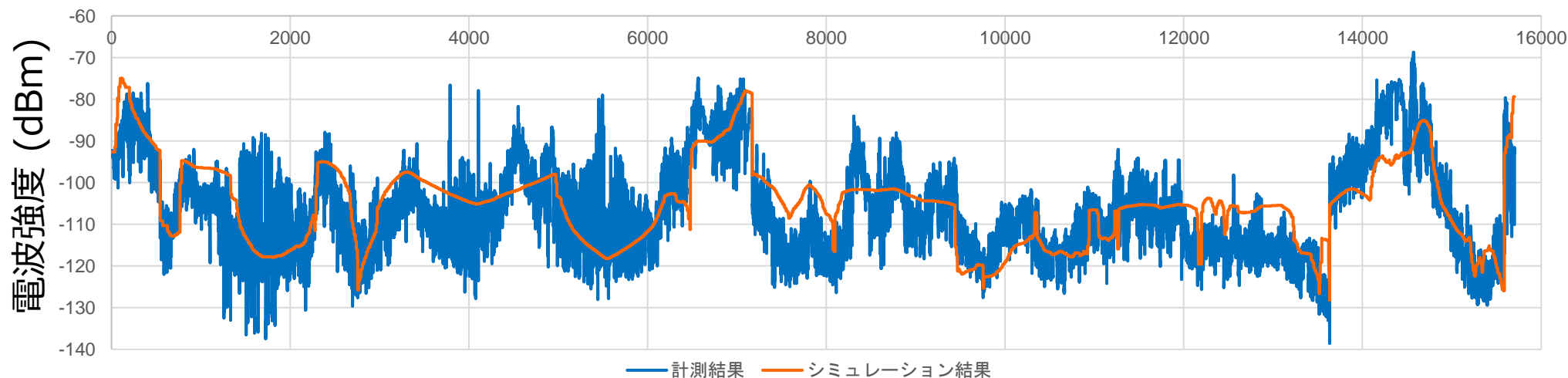


図 電波伝搬の計測結果とシミュレーション結果の比較

IV. 実証技術の検証 > 1.システム検証

② 検証結果 | 精度検証

- 同一緯度経度での計測値とシミュレーション値の差をヒストグラムにまとめた（図1）。x軸が正の値に大きいほど、計測値がシミュレーション値よりも大きかったことを示している。各地点での計測値とシミュレーション値との差を対応する位置にプロットしたものが図3で、青いほど、シミュレーション値が計測値より大きかったことを示している。
- 計測できたエリアは歩行可能な領域の47.1%だった。実際に計測できた点を図2に示す。

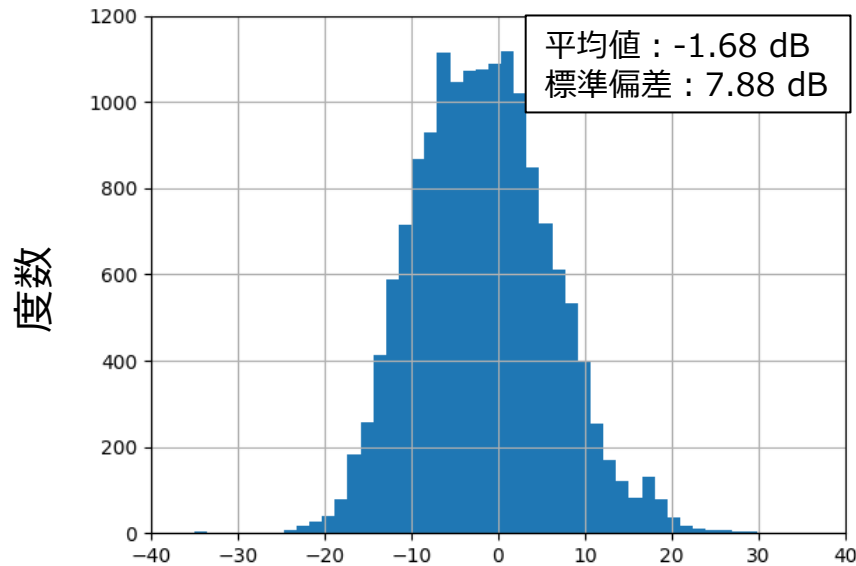


図1 計測値 - シミュレーション値 (dB)のヒストグラム

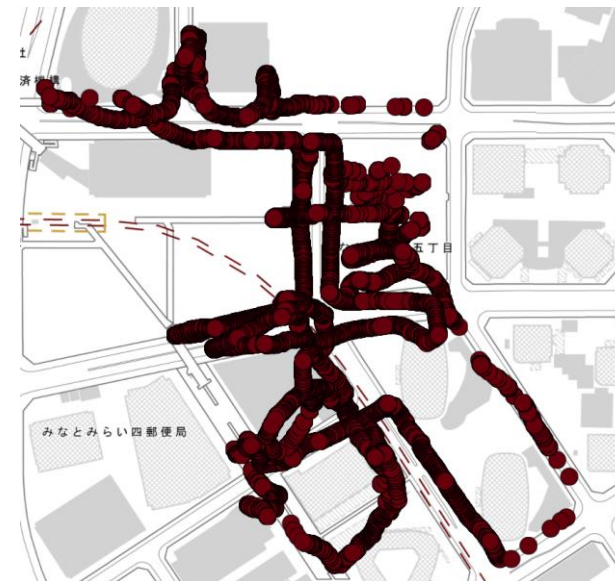


図2 計測できたエリア

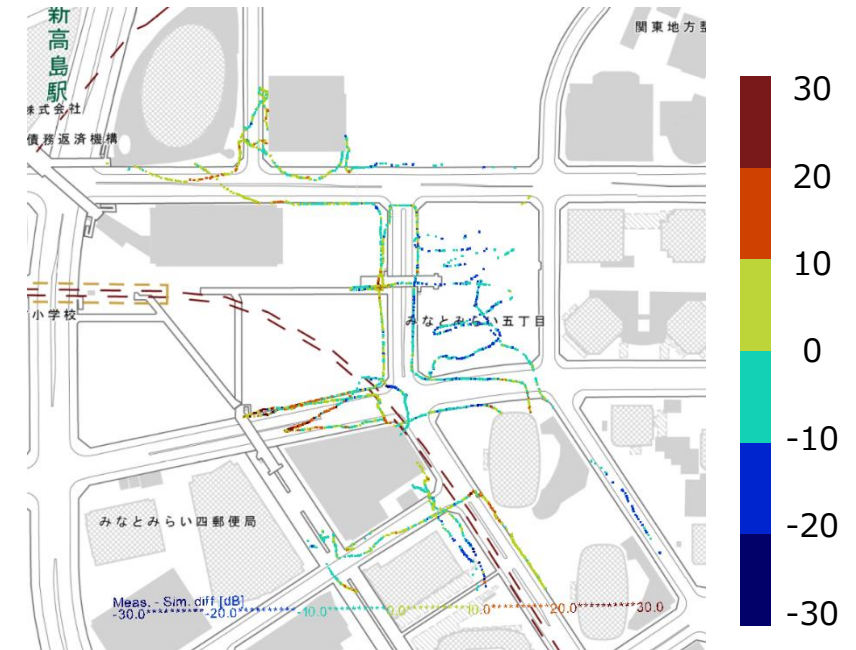


図3 各地点での計測値 - シミュレーション値 (dB)

IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

② 検証結果 | 精度検証

- 実際の計測状況を確認すると街路樹により電波を遮られる個所が発生している可能性があったため、シミュレーションでも樹木をモデルに導入し、より高精度な結果を得られるかを試みた。樹木に関しては、地図の衛星画像から確認できる位置に手作業で配置した。送信アンテナから見渡せる範囲の樹木を3D都市モデルに導入した。図1の茶色のオブジェクトが導入した樹木を表している。
- 樹木の外寸を図2に示す。高さはおよそ7.7 m程度で、現地の街路樹と似た形状のものを沼津の3D都市モデルから取り出した。取り出し手順については、「Ⅲ.7. ユーザインタフェース」で記載されている方法と同様の手法で可能である。
- 樹木は電波伝搬シミュレーションでは、電波の減衰に影響を与える。その影響を定義する材料特性にはWinPropに搭載されている材料データベースから木材を選択することで設定した。

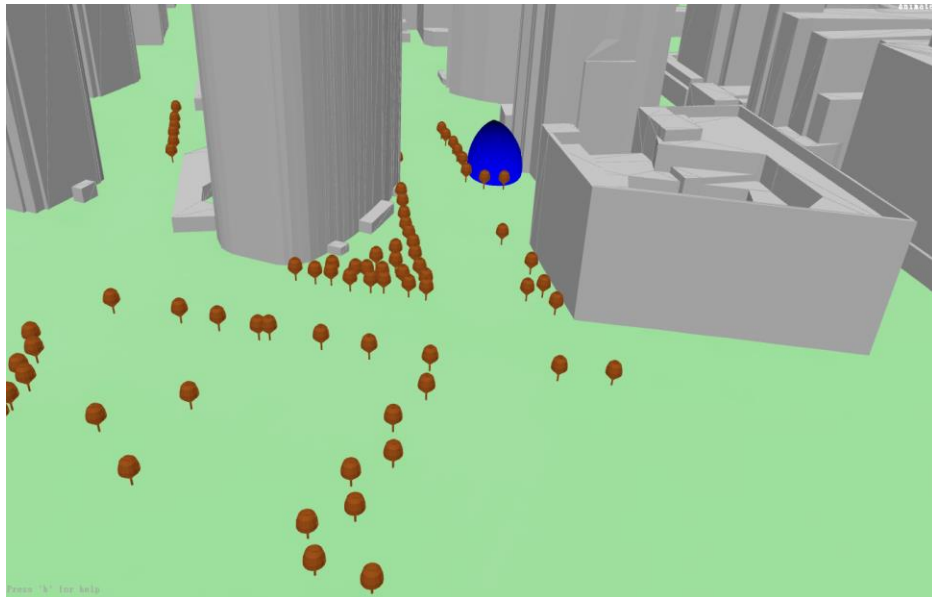


図1 シミュレーション精度向上のため樹木を導入したシミュレーションモデル

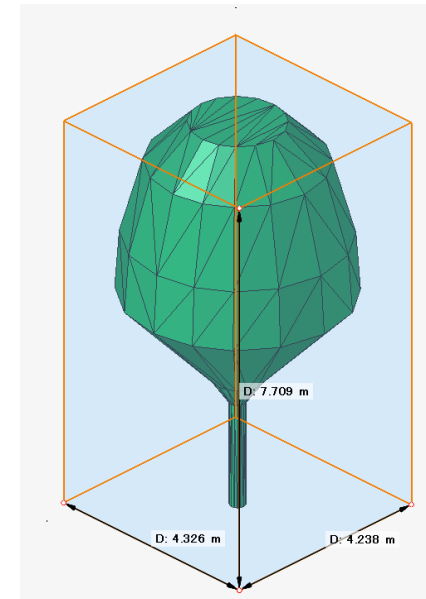


図2 樹木の外寸

IV. 実証技術の検証 > 1.システム検証

② 検証結果 | 精度検証

- 同一緯度経度での計測値とシミュレーション値の差をヒストグラムにまとめた（図1）。x軸が正の値に大きいほど、計測値がシミュレーション値よりも大きかったことを示している。各地点での計測値とシミュレーション値との差を対応する位置にプロットしたものが図3で、青いほど、シミュレーション値が計測値より大きかったことを示している。
- 計測できたエリアは歩行可能な領域の47.1%だった。実際に計測できた点を図2に示す。

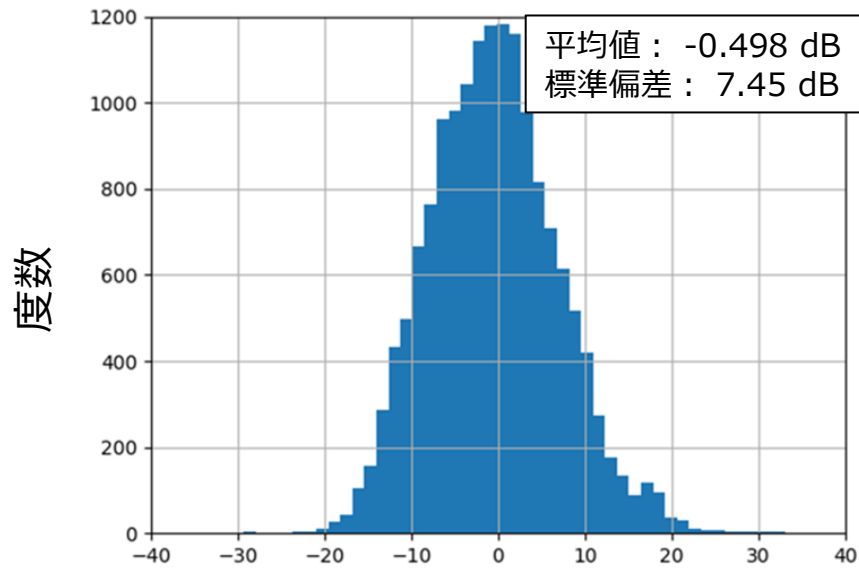


図1 計測値 - シミュレーション値 (dB)のヒストグラム

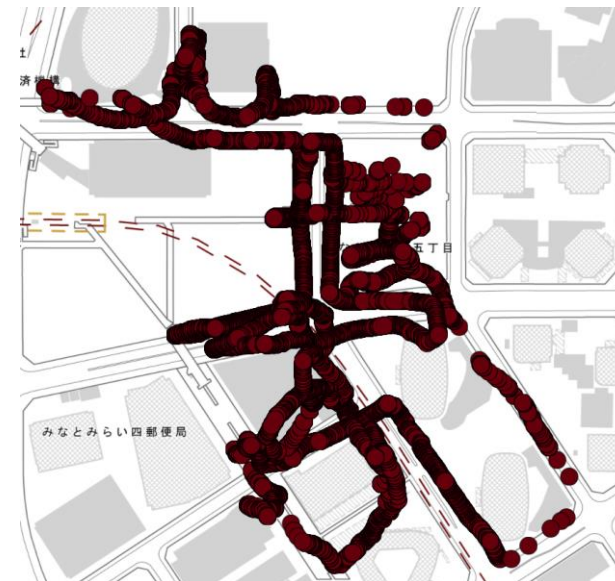


図2 計測できたエリア

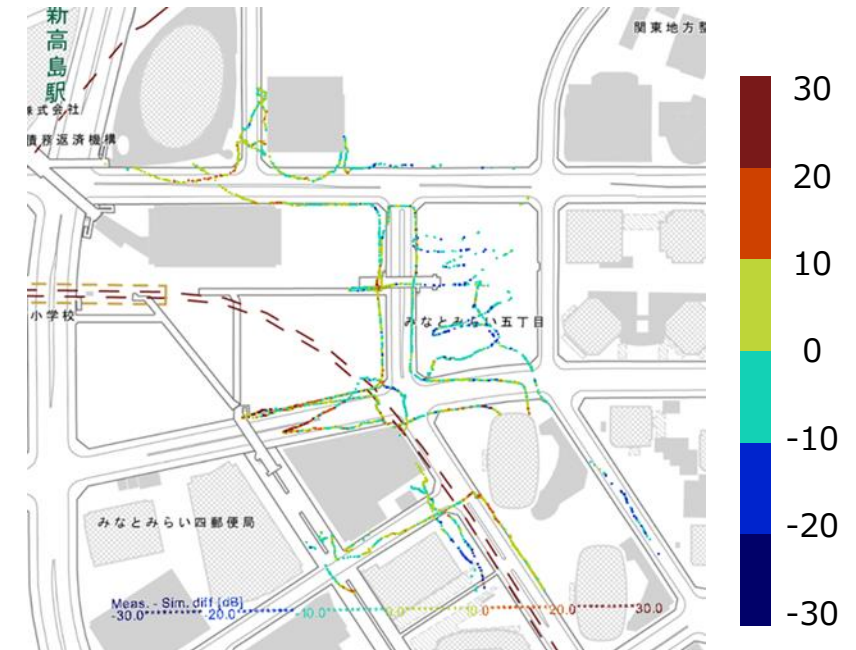


図3 各地点での計測値 - シミュレーション値 (dB)

IV. 実証技術の検証 > 1.システム検証

②検証結果 | 精度検証

- 樹木を配置することで、計測値とシミュレーション値の差の平均は、-1.68 dBから-0.498 dBに改善、標準偏差についても7.88 dBから7.45 dBに改善し、計測結果に近づくことが分かった。
- この検証結果から電波伝搬シミュレーションにおいて、地面付近での電波強度を求める場合は、樹木のモデル化をおこなうことでより高精度なシミュレーション結果を得ることができた。一方で、本実証での対象地区では樹木のデータは3D都市モデルには含まれておらず、手作業による追加の作業が必要であった。3D都市モデルに街路樹も含まれることで、高精度な電波伝搬シミュレーションを手軽におこなえるようになると思われる。
- 樹木のモデル化をせずとも計測値とシミュレーション値の差は-1.68 dB± 7.88 dBで、KPIで設定した±10 dB以下に収まっていることが確認できた。
- 3D都市モデルを利用しない電波伝搬シミュレーションでは、建物の高さなどは下図に示すような条件に基づく平均的な建物高さや、建物の密集具合などによりパラメータを変更する方法がとられた。3D都市モデルを活用することでそれらの不確定性がなく、実際の建物の高さ、形状を利用した電波伝搬シミュレーションをより手軽に実施することができるようになった。
- これまではこのような3Dデータを電波伝搬シミュレーションに利用する場合は、プロジェクトごとに地域を指定して販売会社から購入する必要があり、コストや契約による制限もあったが、オープンデータであるPLATEAUの3D都市モデルを活用することで、電波伝搬シミュレーションをより広く活用できる機会が増えると考えられる。

※1 出典)課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けたローカル 5G の電波伝搬特性やローカル 5G 等の活用に関する技術的検討並びに調査検討の請負【技術実証編】報告書 2022 年 3 月 30 日 株式会社三菱総合研究所
 URL:https://go5g.go.jp/sitemanager/wp-content/uploads/2022/05/%E4%BB%A4%E5%92%8C%EF%BC%93%E5%B9%B4%E5%BA%A6%E3%83%AD%E3%83%BC%E3%82%AB%E3%83%AB%EF%BC%95G%E9%96%8B%E7%99%BA%E5%AE%9F%E8%A8%BC_%E8%AA%BF%E6%9F%BB%E5%A0%B1%E5%91%8A%E6%9B%B8_%E6%8A%80%E8%A1%93%E5%AE%9F%E8%A8%BC%E7%B7%A8_%E5%85%A8%E4%BD%93%E7%89%88.pdf

| 条件 | 値(m) |
|-------------------------------|------|
| 概ね 5 階までの建物が密集する地域に基地局を開設する場合 | 15 |
| 概ね 3 階までの建物が密集する地域に基地局を開設する場合 | 10 |
| 概ね 2 階までの建物が密集する地域に基地局を開設する場合 | 6 |
| 概ね平屋が散在する地域や田園地域の場合 | 3 |

図 平均的な建物高さ決定の条件※1

IV. 実証技術の検証 > 1.システム検証

② 検証結果 | 基地局配置最適化

- 「IV 1.システム検証 検証内容 基地局配置最適化」に記載したとおり、電波伝搬シミュレーションにより算出された受信電力強度の結果のマップから、最適な基地局配置を検討した。
- それぞれの基地局の組み合わせでの電波カバー率を縦軸に、基地局数を横軸に取ったグラフを下図に示す。グラフ内にはパレートフロントを赤点線で記載した。

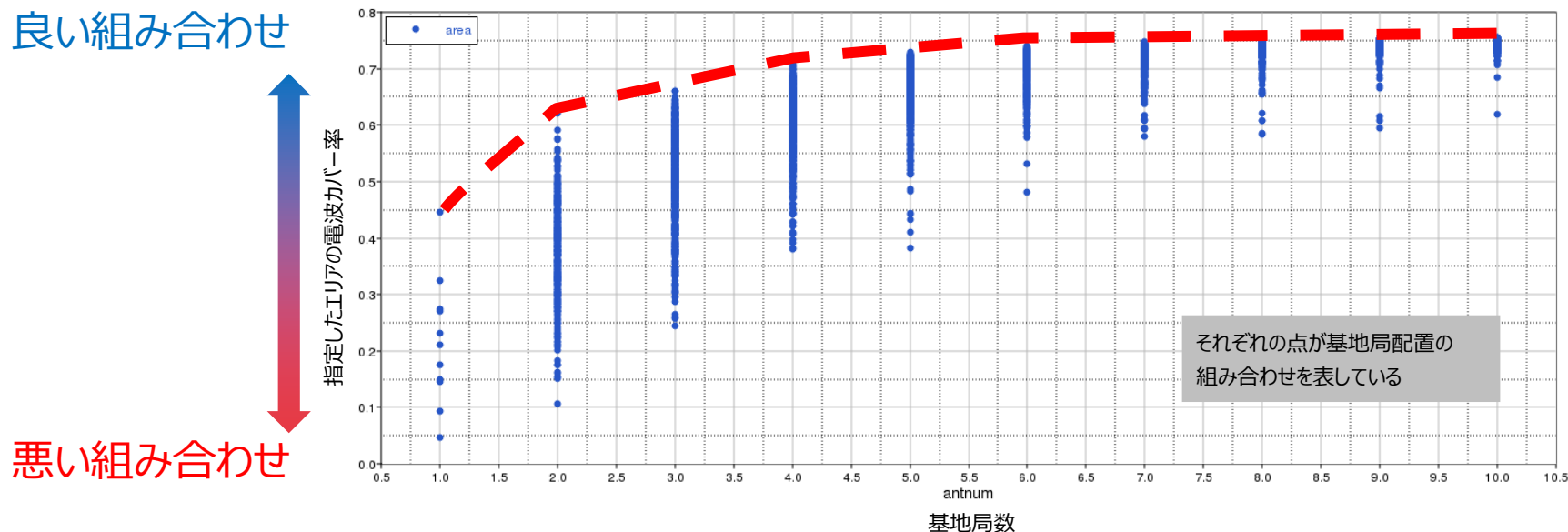


図 基地局数とカバーエリアの割合のグラフ

IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

② 検証結果 | 基地局配置最適化

- 基地局1基の場合の最適化前と最適化後のカバーエリアの違いを下図に示す。
- 赤矢印の始点が基地局の位置、赤矢印の向きがアンテナの方向を示している。
- 図の下に記載のあるカラーバーの通り、濃い青色になるほど電波が弱い場所を表している。

電波カバー率 : 0.23

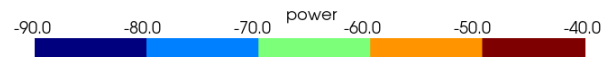


図 最適化前の電波カバーエリアの図

電波カバー率 : 0.45

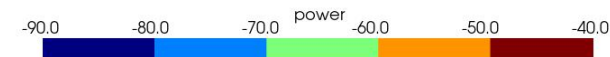
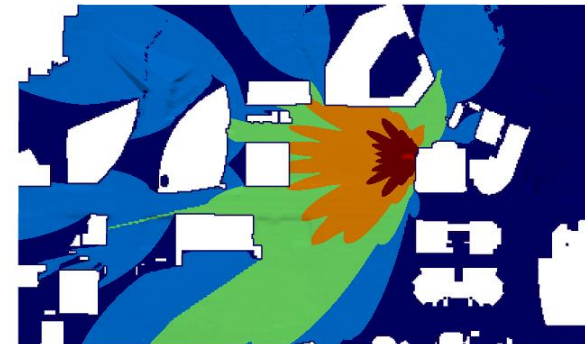


図 最適化後の電波カバーエリアの図

IV. 実証技術の検証 > 1.システム検証

②検証結果 | 基地局配置最適化

- 基地局2基の場合の最適化前と最適化後のカバーエリアの違いを下図に示す。

電波カバー率 : 0.35

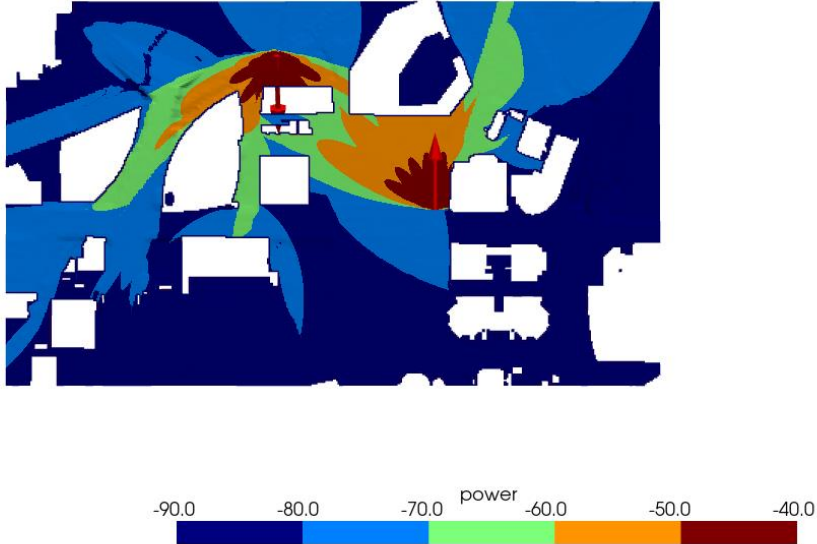


図 最適化前の電波カバーエリアの図

電波カバー率 : 0.62

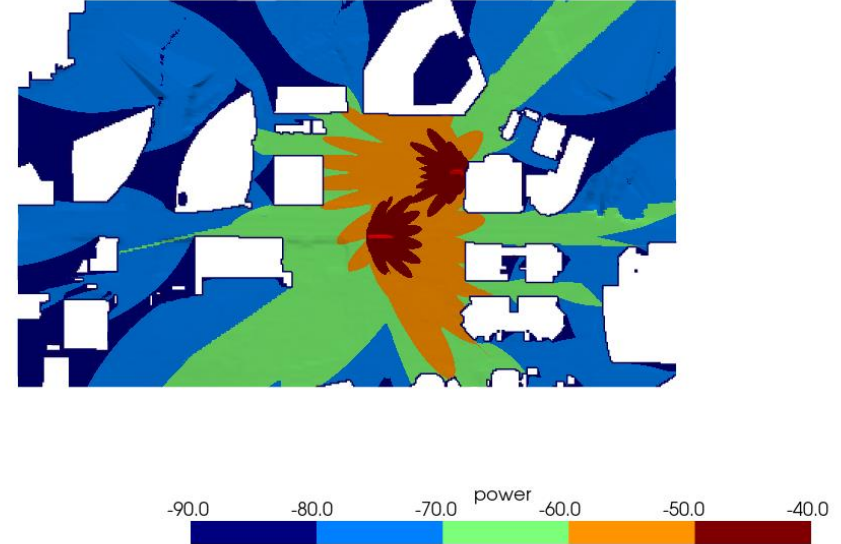


図 最適化後の電波カバーエリアの図

IV. 実証技術の検証 > 1.システム検証

②検証結果 | 基地局配置最適化

- 基地局3基の場合の最適化前と最適化後のカバーエリアの違いを下図に示す。

電波カバー率 : 0.35

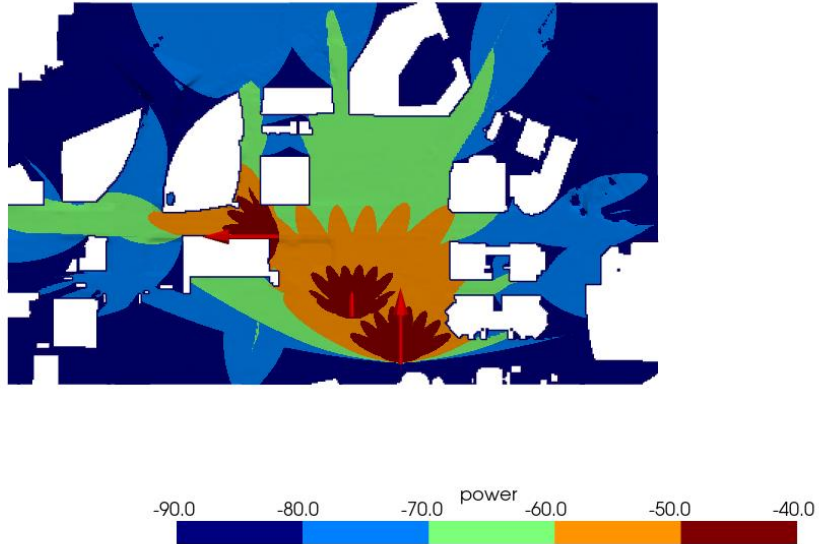


図 最適化前の電波カバーエリアの図

電波カバー率 : 0.66

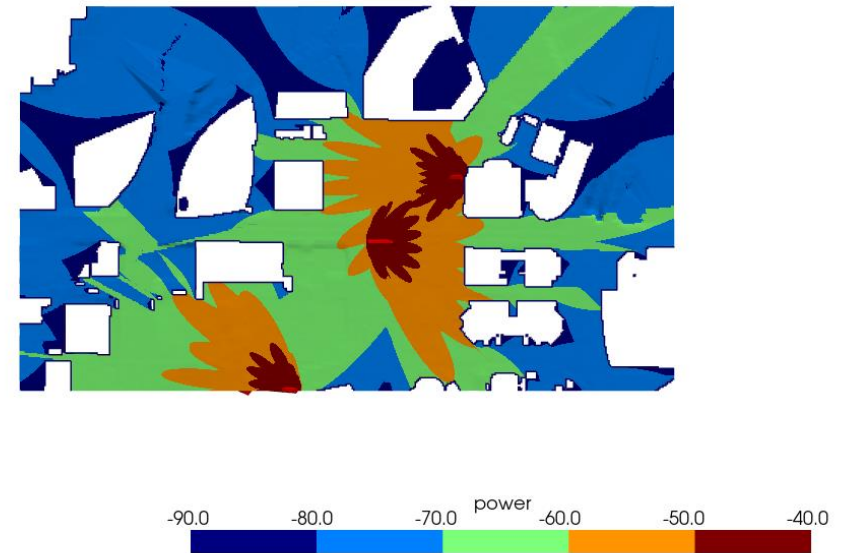


図 最適化後の電波カバーエリアの図

IV. 実証技術の検証 > 1.システム検証

②検証結果 | 基地局配置最適化

- 基地局4基の場合の最適化前と最適化後のカバーエリアの違いを下図に示す。

電波カバー率 : 0.54

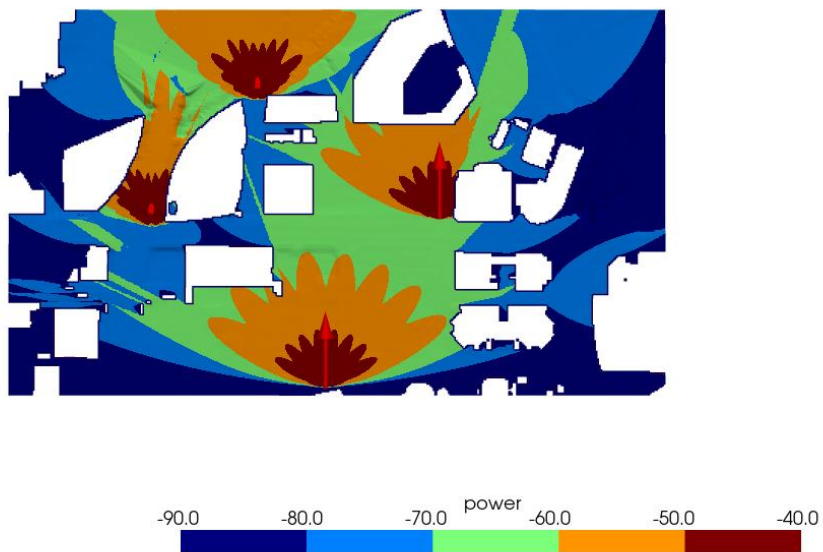


図 最適化前の電波カバーエリアの図

電波カバー率 : 0.71

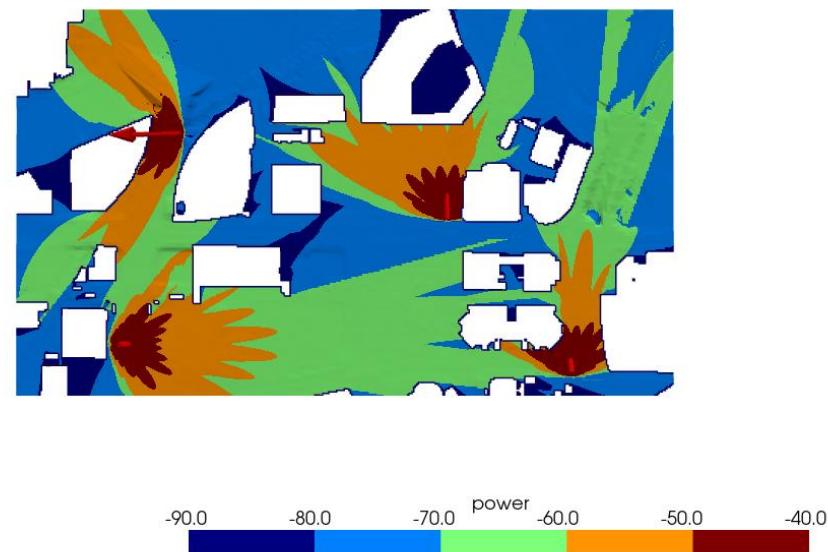


図 最適化後の電波カバーエリアの図

IV. 実証技術の検証 > 1.システム検証

②検証結果 | 基地局配置最適化

- 基地局5基の場合の最適化前と最適化後のカバーエリアの違いを下図に示す。

電波カバー率 : 0.57

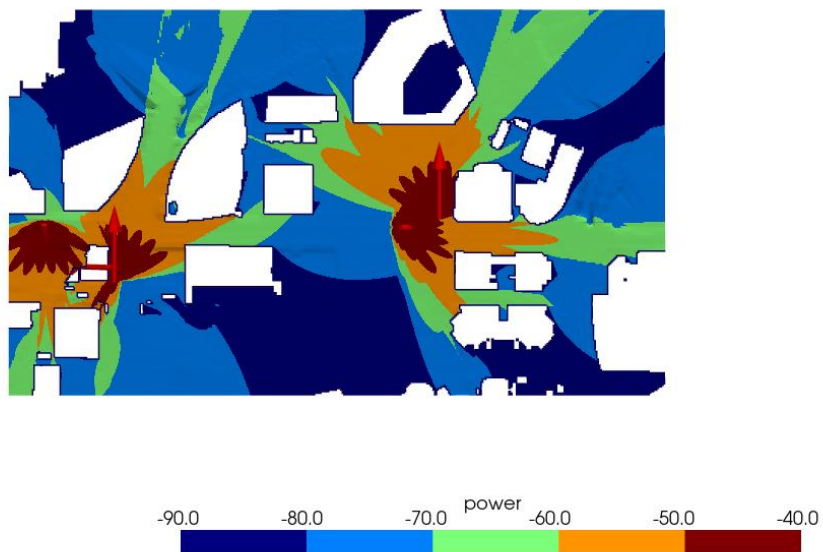


図 最適化前の電波カバーエリアの図

電波カバー率 : 0.73

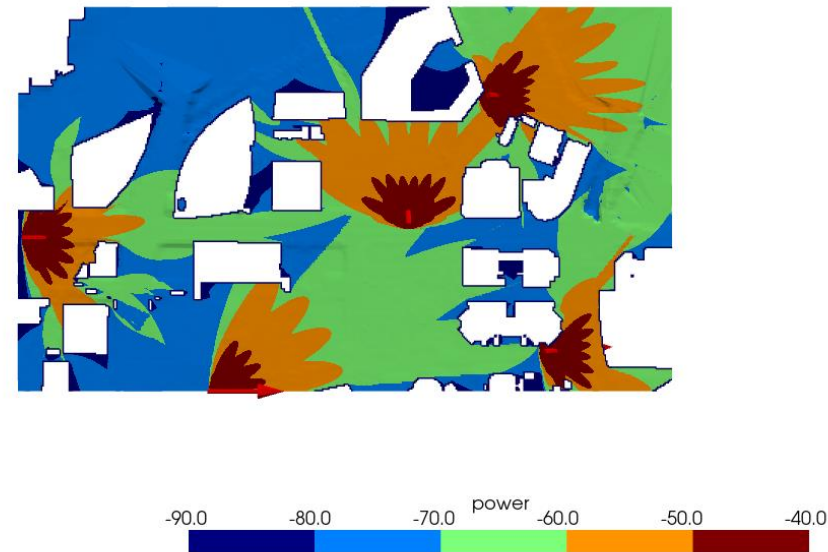


図 最適化後の電波カバーエリアの図

IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

② 検証結果 | 基地局配置最適化

- 基地局6基の場合の最適化前と最適化後のカバーエリアの違いを下図に示す。

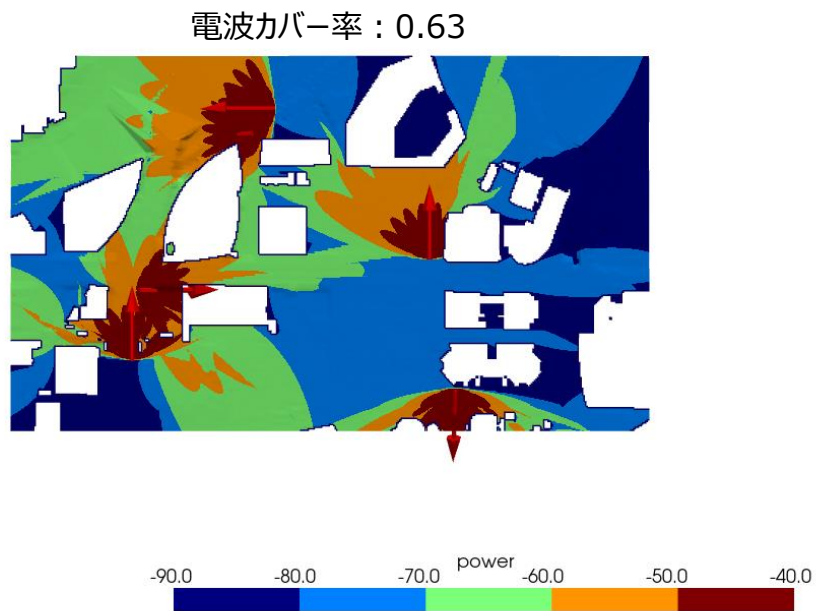


図 最適化前の電波カバーエリアの図

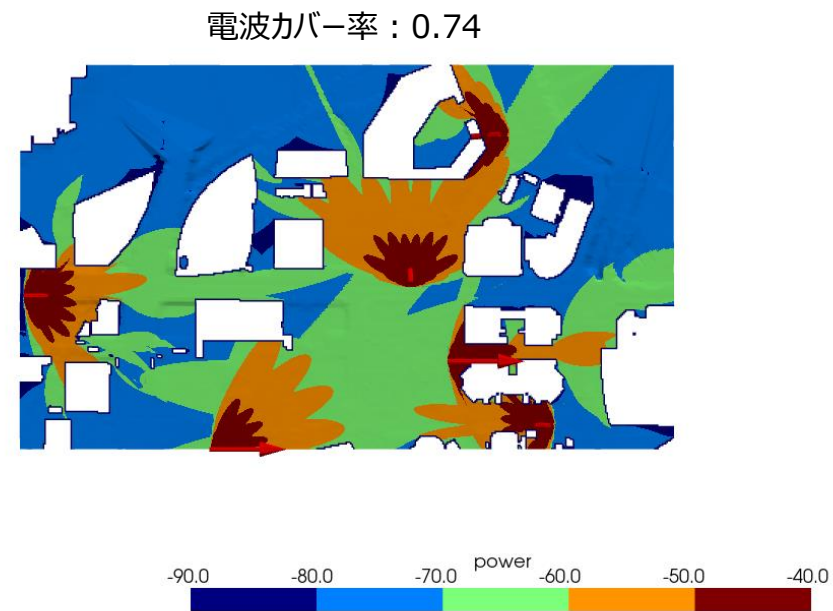


図 最適化後の電波カバーエリアの図

IV. 実証技術の検証 > 1. システム検証

② 検証結果 | 基地局配置最適化

- 基地局7基の場合の最適化前と最適化後のカバーエリアの違いを下図に示す。

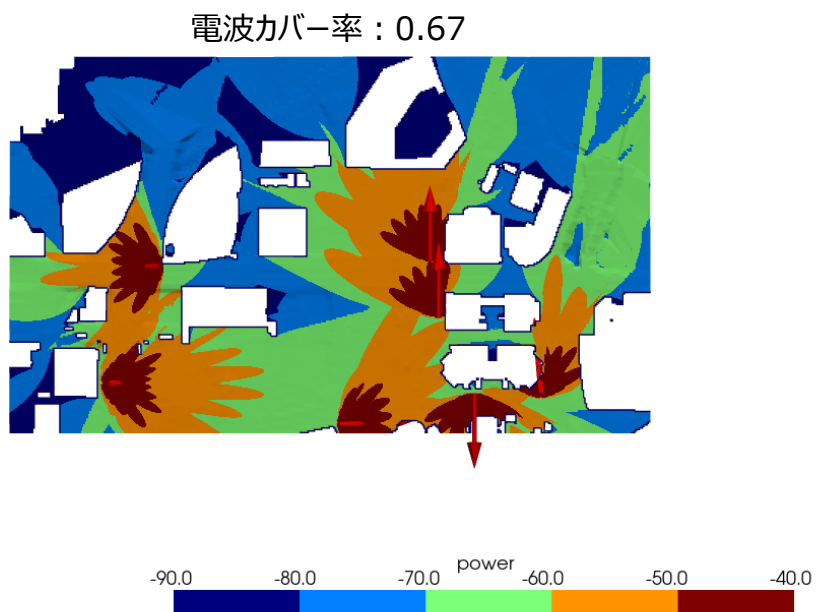


図 最適化前の電波カバーエリアの図

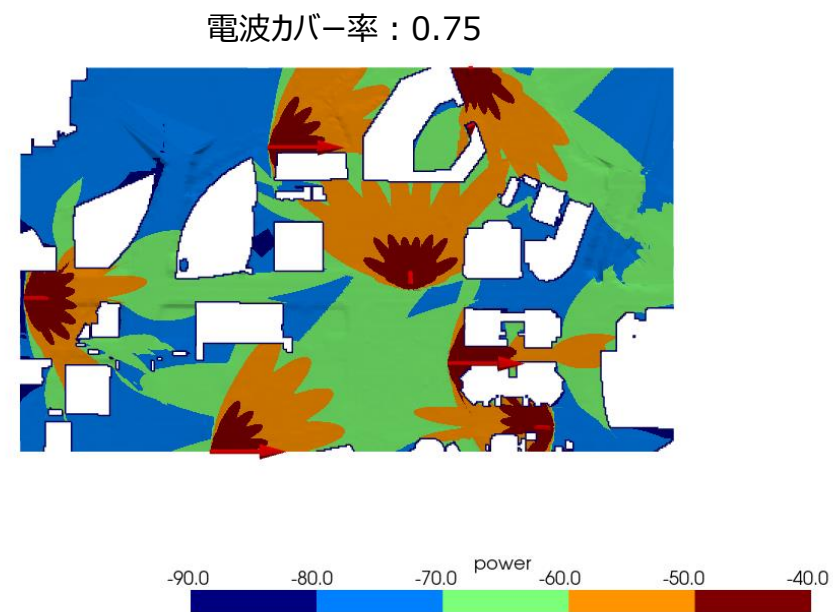


図 最適化後の電波カバーエリアの図

IV. 実証技術の検証 > 1.システム検証

② 検証結果 | 基地局配置最適化

- 基地局8基の場合の最適化前と最適化後のカバーエリアの違いを下図に示す。

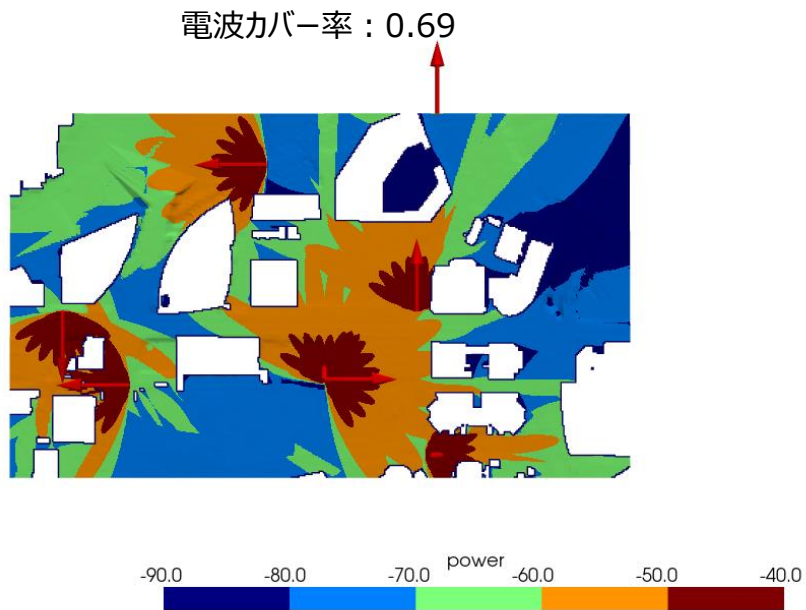


図 最適化前の電波カバーエリアの図

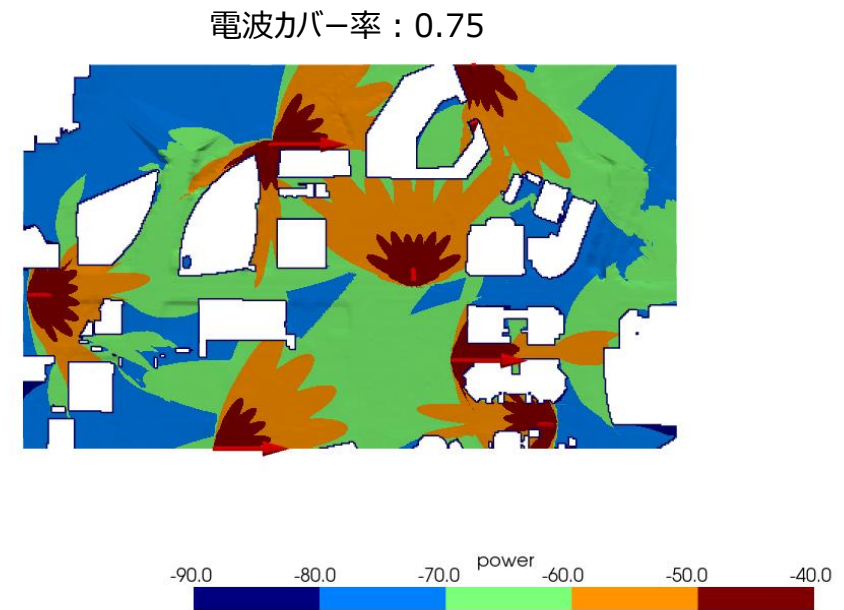


図 最適化後の電波カバーエリアの図

IV. 実証技術の検証 > 1.システム検証

②検証結果 | 基地局配置最適化

- 基地局9基の場合の最適化前と最適化後のカバーエリアの違いを下図に示す。

電波カバー率 : 0.70

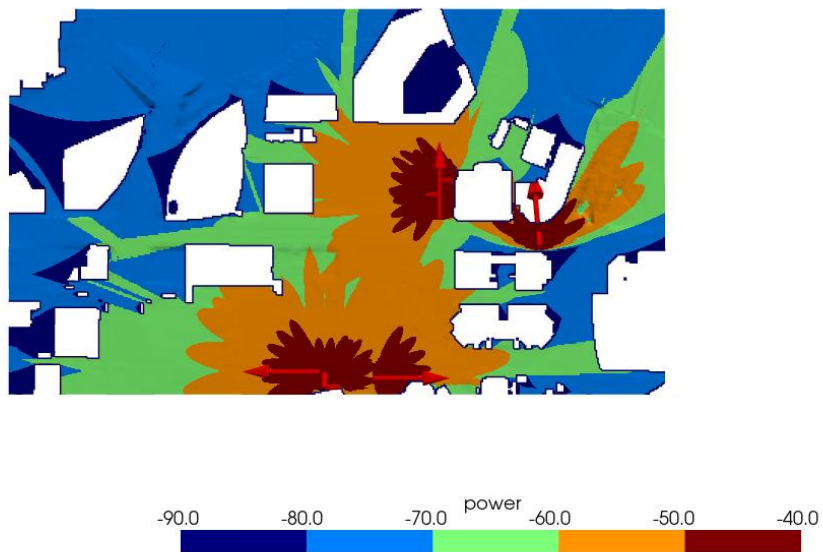


図 最適化前の電波カバーエリアの図

電波カバー率 : 0.75

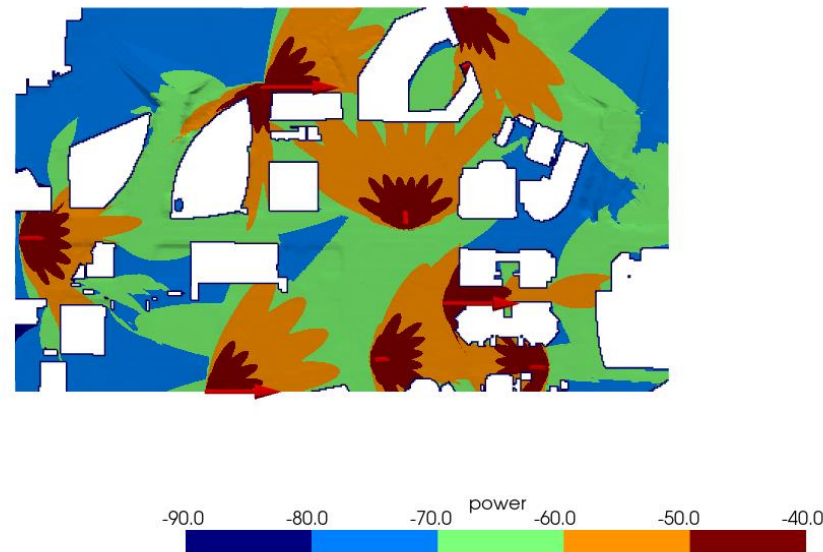


図 最適化後の電波カバーエリアの図

IV. 実証技術の検証 > 1.システム検証

② 検証結果 | 基地局配置最適化

- 基地局10基の場合の最適化前と最適化後のカバーエリアの違いを下図に示す。

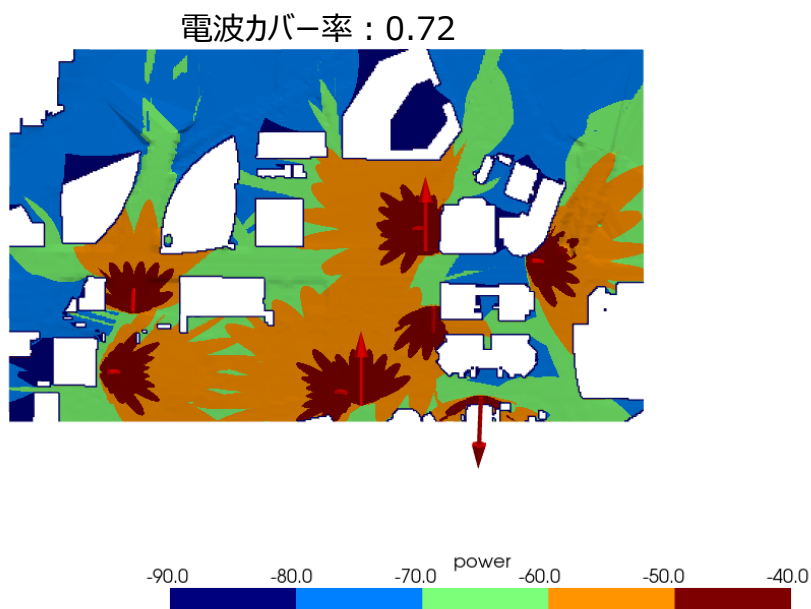


図 最適化前の電波カバーエリアの図

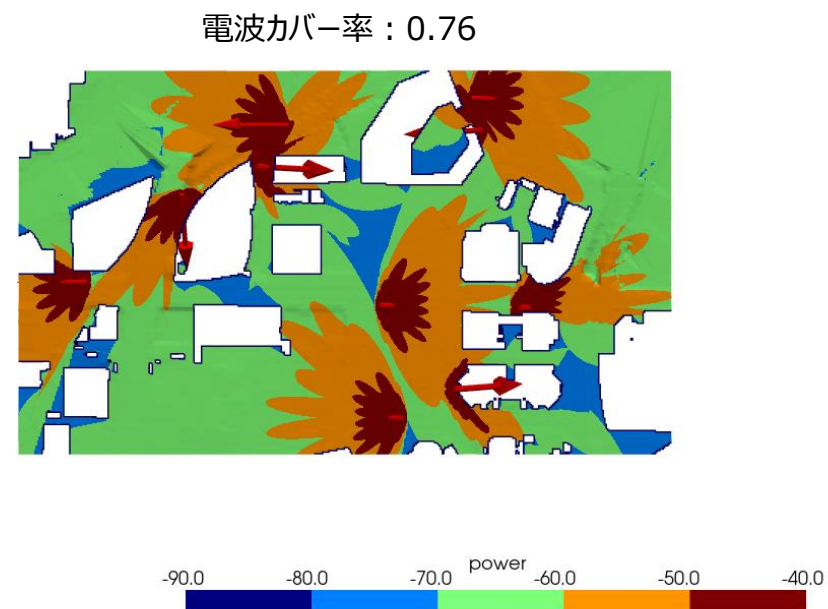


図 最適化後の電波カバーエリアの図

IV. 実証技術の検証 > 1.システム検証

②検証結果 | 基地局配置最適化

- 基地局数1~5で最適化された基地局の組み合わせでの電波カバー率、送信機位置、アンテナのAzimuth, Down tiltを下記の表に示す。

表 最適配置結果(基地局数1~5)

| 基地局数 | 電波カバー率 | 送信機位置 x,y,z (m) (EPSG : 6691、z座標は海拔) | Azimuth(°) (北を0度) | Down tilt(°) |
|------|--------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 0.45 | 375801.397, 3925293.929, 14.205 | 270 | 60 |
| 2 | 0.62 | 375801.397, 3925293.929, 14.205 375679.985, 3925210.789, 15.0 | 270.0 90.0 | 60.0 20.0 |
| 3 | 0.66 | 375801.397, 3925293.929, 14.205 375679.985, 3925210.789, 15.0 375587.731, 3925018.667, 14.053 | 270.0 90.0 270.0 | 60.0 20.0 40.0 |
| 4 | 0.71 | 375785.635, 3925245.677, 14.389 375441.967, 3925355.63, 17.937 375361.747, 3925083.852, 14.589 375945.997, 3925047.63, 13.248 | 0.0 270.0 90.0 0.0 | 20.0 20.0 60.0 40.0 |
| 5 | 0.73 | 375838.917, 3925401.499, 13.7 375735.815, 3925234.25, 14.9 375475.254, 3925018.29, 13.457 375234.084, 3925216.654, 12.764 375912.217, 3925069.425, 13.0 | 90.0 0.0 90.0 90.0 90.0 | 60.0 40.0 0.0 20.0 40.0 |

IV. 実証技術の検証 > 1.システム検証

② 検証結果 | 基地局配置最適化

- 基地局数6~7で最適化された基地局の組み合わせでの電波カバー率、送信機位置、アンテナのAzimuth, Down tiltを下記の表に示す。

表 最適配置結果(基地局数6~7)

| 基地局数 | 電波カバー率 | 送信機位置 x,y,z (m) (EPSG : 6691、z座標は海拔) | Azimuth(°) (北を0度) | Down tilt(°) |
|------|--------|---|----------------------|--------------|
| 6 | 0.74 | 375850.935, 3925425.567, 13.7 | 270.0 | 60.0 |
| | | 375784.063, 3925132.276, 13.434 | 90.0 | 0.0 |
| | | 375735.815, 3925234.25, 14.9 | 0.0 | 40.0 |
| | | 375916.796, 3925048.519, 13.288 | 270.0 | 40.0 |
| | | 375475.254, 3925018.29, 13.457 | 90.0 | 0.0 |
| | | 375234.084, 3925216.654, 12.764 | 90.0 | 20.0 |
| 7 | 0.75 | 375813.729, 3925516.237, 13.35 | 180.0 | 60.0 |
| | | 375550.353, 3925412.289, 13.638 | 90.0 | 0.0 |
| | | 375784.063, 3925132.276, 13.434 | 90.0 | 0.0 |
| | | 375735.815, 3925234.25, 14.9 | 0.0 | 40.0 |
| | | 375916.796, 3925048.519, 13.288 | 270.0 | 40.0 |
| | | 375475.254, 3925018.29, 13.457 | 90.0 | 0.0 |
| | | 375234.084, 3925216.654, 12.764 | 90.0 | 20.0 |

IV. 実証技術の検証 > 1.システム検証

② 検証結果 | 基地局配置最適化

- 基地局数8で最適化された基地局の組み合わせでの電波カバー率、送信機位置、アンテナのAzimuth, Down tiltを下記の表に示す。

表 最適配置結果(基地局数8)

| 基地局数 | 電波カバー率 | 送信機位置 x,y,z (m) (EPSG : 6691、z座標は海拔) | Azimuth(°) (北を0度) | Down tilt(°) |
|------|--------|---|----------------------|--------------|
| 8 | 0.75 | 375813.729, 3925516.237, 13.35 | 180.0 | 60.0 |
| | | 375550.353, 3925412.289, 13.638 | 90.0 | 0.0 |
| | | 375550.353, 3925412.289, 13.638 | 180.0 | 40.0 |
| | | 375784.063, 3925132.276, 13.434 | 90.0 | 0.0 |
| | | 375735.815, 3925234.25, 14.9 | 0.0 | 40.0 |
| | | 375916.796, 3925048.519, 13.288 | 270.0 | 40.0 |
| | | 375475.254, 3925018.29, 13.457 | 90.0 | 0.0 |
| | | 375234.084, 3925216.654, 12.764 | 90.0 | 20.0 |

IV. 実証技術の検証 > 1.システム検証

② 検証結果 | 基地局配置最適化

- 基地局数9で最適化された基地局の組み合わせでの電波カバー率、送信機位置、アンテナのAzimuth, Down tiltを下記の表に示す。

表 最適配置結果(基地局数9)

| 基地局数 | 電波カバー率 | 送信機位置 x,y,z (m) (EPSG : 6691、z座標は海拔) | Azimuth(°) (北を0度) | Down tilt(°) |
|------|--------|---|----------------------|--------------|
| 9 | 0.75 | 375813.729, 3925516.237, 13.35 | 180.0 | 60.0 |
| | | 375550.353, 3925412.289, 13.638 | 90.0 | 0.0 |
| | | 375550.353, 3925412.289, 13.638 | 180.0 | 40.0 |
| | | 375784.063, 3925132.276, 13.434 | 90.0 | 0.0 |
| | | 375695.405, 3925058.858, 13.5 | 90.0 | 40.0 |
| | | 375735.815, 3925234.25, 14.9 | 0.0 | 40.0 |
| | | 375916.796, 3925048.519, 13.288 | 270.0 | 40.0 |
| | | 375475.254, 3925018.29, 13.457 | 90.0 | 0.0 |
| | | 375234.084, 3925216.654, 12.764 | 90.0 | 20.0 |

IV. 実証技術の検証 > 1.システム検証

② 検証結果 | 基地局配置最適化

- 基地局数10で最適化された基地局の組み合わせでの電波カバー率、送信機位置、アンテナのAzimuth, Down tiltを下記の表に示す。

表 最適配置結果(基地局数10)

| 基地局数 | 電波カバー率 | 送信機位置 x,y,z (m) (EPSG : 6691、z座標は海拔) | Azimuth(°) (北を0度) | Down tilt(°) |
|------|--------|---|----------------------|--------------|
| 10 | 0.76 | 375831.646, 3925438.922, 14.327 | 270.0 | 40.0 |
| | | 375816.646, 3925480.814, 13.4 | 90.0 | 20.0 |
| | | 375539.354, 3925391.599, 14.617 | 90.0 | 60.0 |
| | | 375580.517, 3925445.799, 12.84 | 270.0 | 0.0 |
| | | 375795.336, 3925102.552, 13.004 | 90.0 | 60.0 |
| | | 375441.967, 3925355.63, 17.937 | 180.0 | 40.0 |
| | | 375319.633, 3925241.486, 15.855 | 270.0 | 20.0 |
| | | 375880.548, 3925208.493, 14.775 | 90.0 | 60.0 |
| | | 375728.108, 3925064.706, 13.411 | 270.0 | 40.0 |
| | | 375698.496, 3925211.502, 15.0 | 90.0 | 40.0 |

IV. 実証技術の検証 > 1.システム検証

②検証結果 | 基地局配置最適化

- 「IV.実証技術の検証 1.システム検証 検証結果 基地局配置最適化」に掲載した「図 基地局数とカバーエリアの割合のグラフ」から、基地局6基以上では電波カバー率が頭打ちになっていることが分かった。このことから今回指定したエリアにおいては6基以上での運用は基地局増加に伴うコストの増加に対し、得られる対価が低いことがわかる。このような情報があらかじめシミュレーションにより得られていることで、予算の確保、運用コストなどが事前に把握することができると考えられる。
- 最適化ツールのHyperStudyを利用することで、人の手を使わず機械的に最適配置を求めることができた。一方で、ニーズに合わせた調整も重要となることもある。そのような場合は、まずは、最適化ツールを利用して得られた案を基に微調整をすることでニーズに合わせた配置へと変更することも可能である。もしこのニーズに合わせた微調整作業が自動化することができるのであれば、それをHyperStudy上で登録することで一連の最適化として実施することも可能である。

IV. 実証技術の検証 > 2.政策活用に向けた検証

① 検証内容 | 横浜未来機構正会員向け 5Gセミナーvol.3

横浜未来機構正会員向け 5Gセミナーvol.3での発表

| | |
|--------------|---|
| 目的 | 実証実験の成果発表、検証ポイント1のための計測、検証ポイント2の実施 |
| 実施期間 | 2022年11月17日 |
| 実施場所 | 神奈川県横浜市西区みなとみらい4-7-3 横浜メディアタワー |
| 主な参加者 | 横浜未来機構正会員（40名） |
| 実施内容 | <ul style="list-style-type: none"> ・移動基地局車からの5G電波の強度計測 ・横浜みなとみらい2 1 地区の5Gの取り組みについての講演 ・3D都市モデルを活用した5G電波伝搬シミュレーションについての講演 ・5G環境構築について見学、デモ ・グループワーク |

IV. 実証技術の検証 > 2.政策活用に向けた検証

① 検証内容 | 横浜未来機構正会員向け 5Gセミナーvol.3

横浜未来機構正会員向け 5Gセミナーvol.3での発表



電波シミュレーションについての講義、ディスカッション

IV. 実証技術の検証 > 2. 政策活用に向けた検証

① 検証内容 | 横浜未来機構正会員向け 5Gセミナーvol.3

横浜未来機構正会員向け 5Gセミナーvol.3での発表

移動基地局車からの5G電波の強度計測

5G実証実験のデモを観ながらグループワーク



IV. 実証技術の検証 > 2.政策活用に向けた検証

① 検証内容 | 横浜未来機構正会員向け 5Gセミナーvol.3

横浜未来機構正会員向け 5Gセミナーvol.3での発表

・参加者コメント

- ・5G基地局の選定を事前に検討できるのは有用。
 - ・5Gネットワークの最適エリアを証明しやすい。
 - ・ドローン航路の予想に使える。
 - ・電波が見える化できることで電波に新しい価値が与えられる。
-
- ・建物構造、道路環境のデータが詳細になればシミュレーション精度も上がるが、どこまで細かくモデル化するかの際限がなくなる。
 - ・街路灯、樹木などの付加データの収集が重要になる。

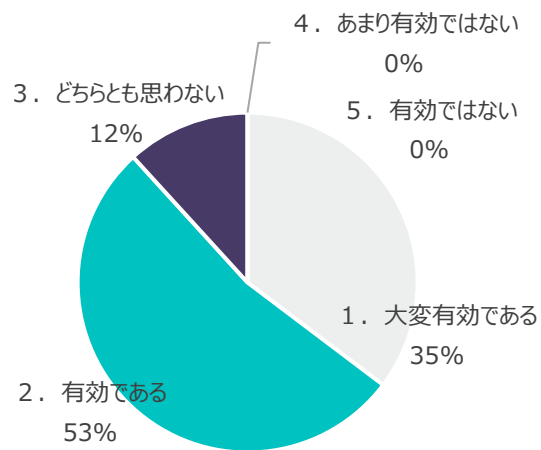
IV. 実証技術の検証 > 2.政策活用に向けた検証

① 検証内容 | 横浜未来機構正会員向け 5Gセミナーvol.3

横浜未来機構正会員向け 5Gセミナーvol.3での発表

- 3D都市モデルを活用した電波伝搬シミュレーションについての横浜未来機構正会員殿からのアンケート結果(N=17)

Q. 5G可搬型基地局を設置する際、「3D都市モデルを活用した5G電波電波シミュレーション」は有効だと思いますか？



<理由>

1. 大変有効である

- 3D都市モデル活用して、ダイナミックに検討できる
- シミュレーション結果と実測定結果が、ほぼ同じであり信頼できる
- ビルの形状により電波の届き方が変わるため、基地局設置場所の検討に非常に有効
- 基地局の免許申請時に否応なく必要なため

2. 有効である

- オープンデータの3Dデータを活用することで、エリア設計を素早く正確に解析できるところにメリットを感じました。
- 可搬型が利用可能な免許体系より、固定設置が必須の免許体系の方がより活かせると感じた。
- 基地局設置の最適化がはかる。
- 電波の有効範囲について見える化を行うことは有効であるため

3. どちらとも思わない

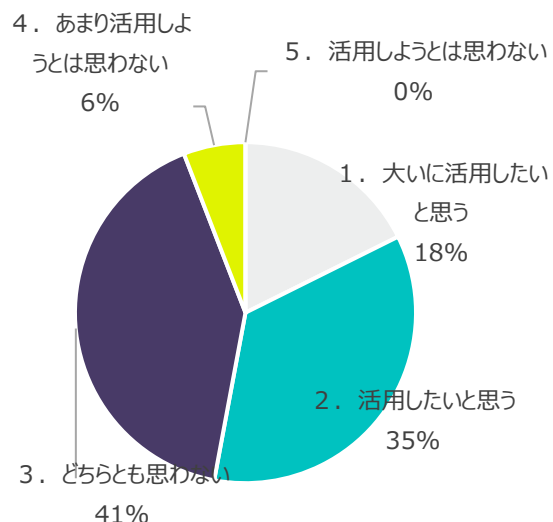
- シミュレーションの条件を加えないと、正確な情報を入手できない。

IV. 実証技術の検証 > 2. 政策活用に向けた検証

① 検証内容 | 横浜未来機構正会員向け 5Gセミナーvol.3

横浜未来機構正会員向け 5Gセミナーvol.3での発表

Q. 今後「3D都市モデルを活用した5G電波電波シミュレーション」を活用したいと思いますか？



<理由>

2. 活用したいと思う

- ・将来性を感じたため
- ・課題はあると思いますが、シミュレーションのニーズはあるので
- ・5G以降の高周波帯では使用環境に依存して伝送特性が大きく変わりますので、より実体に即したモデルを使ったシミュレーションは技術開発をする上でも大いに役立つと思います。

3. どちらとも思わない

- ・もう少しアプリケーションを検討する必要がある
- ・現時点の自分の業務での利用シーンが思いつかないため。
- ・3D都市モデルのデータベースは大変有効と考えます。しかしながら、更なる精度向上のためにはどこまで物体を再現するのか、構造物の物性値の情報入力など、特にミリ波帯になるとノウハウが必要になってくると考えています。
- ・基地局の設置検討やサービスエリアの検討は思いつきますが、それ以外のケースの広がりが弱い

IV. 実証技術の検証 > 2. 政策活用に向けた検証

① 検証内容 | 通信事業者を交えた有効性のディスカッション

通信事業者を交えた電波伝搬シミュレーションの有効性のディスカッション

| | |
|--------------|---|
| 目的 | 実証実験の成果発表、検証ポイント2の実施 |
| 実施期間 | 2022年12月9日 |
| 実施場所 | オンライン + 横浜みなとみらい21オフィス |
| 主な参加者 | JTOWER、ドコモビジネスソリューションズ（6名） |
| 実施内容 | <ul style="list-style-type: none"> ・電波伝搬シミュレーションと実測結果との比較検証結果の発表 ・基地局配置最適化方法、結果の発表 ・上記発表を基に3D都市モデルを利用した電波伝搬シミュレーションの有効性についてのディスカッション |

IV. 実証技術の検証 > 2. 政策活用に向けた検証

① 検証内容 | 通信事業者を交えた有効性のディスカッション

通信事業者を交えた電波伝搬シミュレーションの有効性のディスカッション

- 3D都市モデルを活用した電波伝搬シミュレーションについての通信事業者殿からのご意見
 - オープンデータであることから使い勝手は良さそうで、活用の機会は多そう。
 - 計算時間もレイトレーシング法よりも短く実用的。
 - 3D都市モデルの情報の定期的な更新や、短期間での差分アップデートしてほしい。
 - 基地局間干渉問題についても実際には起こりうるので、そこまで考慮に入れたシミュレーションもできるとより良い。
 - 電波伝搬の遮蔽物として3D都市モデルが活用できることからシミュレーションする際の仮定が減らせることが良い。
 - 静岡県が点群データを公開していることから、そのような進んだ自治体ではこのような3D都市モデルを活用した高精度な電波伝搬のシミュレーションに興味を示すかもしれない。
 - 5G実証のエリアが見えるだけでも顧客との議論のたたき台として利用ができそう。
 - ネットワーク部では基地局新設、基地局廃止などの場合の確認、チルト角の検討などに電波伝搬のシミュレーション（どのようなものかはノウハウで社外秘）は利活用している。3D都市モデルを電波伝搬のシミュレーションにシームレスに活用できるような枠組みがあれば、活用がしやすい。例えばPLATEAU VIEWから条件入力したら結果が表示されるようなもの。
 - 各自治体が自分たちで3D都市モデル+電波伝搬シミュレーションを実施することで、電波環境の改善などがより進むと思う。そのためには、誰でも簡単に利活用できる枠組みや作業手順が重要である。

IV. 実証技術の検証 > 2.政策活用に向けた検証

② 検証結果

| KPI | KPIの評価方法 | 達成度・結果 |
|--------------------------|--------------------------------|--|
| ①電波伝搬シミュレーション精度 ±10dB | 実測した結果と、シミュレーション結果とを比較し評価する。 | 計測値とシミュレーション値の差は-1.68 dB± 7.88 dBとなったので、KPIは達成された。 |
| ②電波伝搬シミュレーションの有効性 50% | 横浜未来機構会員企業との勉強会・検討会にてアンケートを実施。 | 「有効である」回答は88%となり、KPIは達成された。 (N=17) |
| ③5Gユースケース 1件 | 横浜未来機構会員企業との勉強会・検討会にてアンケートを実施。 | 5Gセミナーを機に複数社で横浜未来機構5Gプロジェクトを発足。5G電波伝送技術、手法についてのユースケース創出に向けて検討開始。 |

IV. 実証技術の検証 > 2.政策活用に向けた検証

② 検証結果

| 項目 | 成果 | 課題 |
|---|--|--|
| <p>3D都市モデルを活用した電波伝搬シミュレーションについて、得られた成果と今後の課題。</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・3D都市モデルを活用した電波伝搬シミュレーションで実測との精度比較を実施した。KPIでも設定した±10dBを達成した。これは通信事業者の立場からも実用に耐えうる精度であり、オープンデータとしてPLATEAUの3D都市モデルを利用できるなら電波伝搬シミュレーションでの活用の機会が多いとのご意見をいただいた。 ・電波伝搬シミュレーションに活用するために必要な3D都市モデルの属性として、建物と地形のほかに植栽も重要な情報であることがわかった。 ・基地局の最適な組み合わせを得るには、最適化ツールの利用が有効な手段であることが確認できた。また、得られた結果の活用についても、電波カバーエリアを詳しく見せることができるので、利活用できるとのご意見をいただいた。 | <ul style="list-style-type: none"> ・3D都市モデルの情報が古くなった場合、3D都市モデルに入っていない建物の追加方法などについては利用者側での対応が求められる点が継続的な利用に対し不安を感じる要因となり得る。 ・3D都市モデルのデータが巨大で、電波伝搬シミュレーションには不要なものも一括でダウンロードが必要で、ハンドリングが利用者側の負担となりやすい。APIなどで指定した範囲、項目を指定してダウンロードできるとより使いやすい。 ・schemaLocation などの変更がされた場合、古いCityGMLを利用すると不具合が生じるケースがあった。ローカルにダウンロードしてしまうと気が付きにくく、プログラムの見直しなど不要な作業が発生してしまうことがあった。このようなことから最新情報にアクセスできるAPIなどが整備されるとよいと思った。 ・電波伝搬シミュレーションツールを専門外の人でも設定しやすい工夫があれば、いろいろな人が利活用できる。 |

I. 実証概要

II. 実証技術の概要

III. 実証システム

IV. 実証技術の検証

V. 成果と課題

V. 成果と課題 > 1. 今年度の実証で得られた成果

① 3D都市モデルによる技術面での優位性 | サマリ

| 項目 | 想定される技術面での優位性 |
|-----------------|--|
| 電波伝搬シミュレーションの精度 | 3Dモデルを利用しない場合、周辺の建築物の平均高さの利用や、建築物の密集具合からモデルを変更するが、これらの不確定性を取り除くことができ、建物の背後への電波の回り込みなども3Dモデルから考慮できる点に優位性がある。 |
| 3D都市モデルの入手 | これまで電波伝搬シミュレーションで3Dモデルを利用しようとする、有償データを購入するか、ユーザ自身が3Dモデルを作成する必要があった。PLATEAUの公開データではユーザ登録等が不要で、誰でもダウンロードができる点がこれまでの3Dモデルに対して優位性がある。 |
| 3D都市モデルの活用 | 有償の3Dモデルは加工、編集、再配布などが制限されることがある。PLATEAUの公開データはこうした制限がなく、3Dデータを利用目的に適した形式や内容への変換や再配布が可能であることから、シミュレーションベンダー、ユーザ双方にメリットがあり、有償の3Dモデルに対して優位性がある。 |

V. 成果と課題 > 1. 今年度の実証で得られた成果

② 3D都市モデルによる政策面での優位性 | サマリ

| 項目 | 想定される政策面での優位性 |
|---------------|--|
| 電波実測のコストと期間 | 電波を実測するには相応の機材と人員コストが必要となるが、コンピューター上のシミュレーションであるため、スピード感のある対応ができ、コストと期間を大幅に圧縮できる。 |
| 電波実測できない場所の計測 | 上空、海上などこれまで計測が出来なかった場所の電波の値が想定できる。 |
| 最適な基地局配置 | <ul style="list-style-type: none"> ・スポット、通り、エリア全域など5Gネットワーク化させたいエリアに対する最適な基地局配置が求められる。また基地局設置に可能な場所やアンテナの方向など現実と照らし合わせながら様々なパターンを導き出すことで、現実的なプランを検討できる。 ・同様に実証実験等で一時的に5Gネットワーク化する際にもコストをかけずシミュレーションを行えることで効率的に進められる。 |
| 先進的な街づくり | 電波の可視化、最適な基地局配置を示せることで5Gの早期ネットワーク化、先進的な街づくりが推進できる。 |

V. 成果と課題 > 2. 今後の取り組みに向けた課題

今後の取り組みに向けた課題

| 項目 | 活用にあたっての課題 |
|------------|--|
| シミュレーション設定 | 自治体での活用に当たっては、不要なパラメーターの設定項目を不可視化するなど、専門外のユーザでも簡単にシミュレーションの設定を行えるような工夫を施す必要がある。 |
| 3D都市モデル | <ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルの情報が古くなった場合、3D都市モデルに入っていない建物の追加方法などについては利用者側での対応が求められる点が継続的な利用に対し不安を感じる要因となり得る。また、自治体単位でデータの一式をまとめてダウンロードする方法しかデータの入手方法がないため、データ容量、通信容量などが増加しがちである。さらに3D都市モデルの仕様の変更等を速やかに対応するためにもAPIなどのように、必要な最新データを必要な分だけ入手できるような整備が期待されている。例えば、OpenStreetMapではOverpass APIという機能を利用できる。※1 他の地域で同様の電波伝搬シミュレーションを実施する際にも、本実証で明らかとなったように、植生による電波の減衰が重要となるので、シミュレーションモデルを構築する際は、植生モデル（veg:SolitaryVegetationObject、veg:PlantCover）を活用することにより、より高精度な結果を得られる。本実証の結果から、LODを上げることによる地物の精緻化や、より実際の状況に近い地物や設備が含まれる3D都市モデルを利用することで精度向上の可能性が示された。 基地局設置場所を屋外でなおかつ道路を想定しているが、場所や環境によっては建物敷地内や屋内も候補になりえる。その場合細かな障害物や建造物の壁や窓の素材なども考慮が必要になるので、より細かな環境データが必要となる。 ※1 出所) URL https://wiki.openstreetmap.org/wiki/JA:Overpass_API |

用語集

| | 用語 | 内容 |
|----|-------------------|---|
| ア行 | Altair WinProp | Altair Fekoに実装されている電波伝搬シミュレーションソフト。 |
| | Altair SimLab | Altair SimLabはプロセス指向の複合領域シミュレーション環境。 |
| | Altair HyperStudy | Altair HyperStudyはエンジニアのための複合領域の設計探査、調査、最適化のソフトウェア。 |
| | Altair Feko | アルテアエンジニアリング社が開発販売する高周波電磁界シミュレーションソフト。 |
| | アンテナの指向性特性 | アンテナの放射する電波の方向依存性。 |
| | 1次元データ | 一つのインデックスに対して一つの値を持つデータ |
| | 遺伝的アルゴリズム | 最適解探索手法の一つ。生物の進化の仕組みを模倣する手法。 |
| | 移動基地局車 | 通常の基地局と同様の通信機器とアンテナを搭載した車両。 |
| | EPSGコード | 空間座標系に割り振られた固有の番号。 |
| | STL | 三角形の集まりとして形状を表現するポリゴンデータ。 |
| カ行 | カバーエリア | 電波強度が通信サービスを利用するのに十分な強度であるエリア。 |
| | 基地局 | 携帯電話と通信するために陸上に配置する無線局 |

用語集

| 用語 | | 内容 |
|----|------------------|--|
| カ行 | クアルコム | アメリカの移動体通信の通信技術および半導体の設計開発を行う企業。 |
| サ行 | サービスエリア | 本実証においては通信サービスが利用できるエリアという意味で使用している。 |
| | 支配的な伝搬経路 | ドミナントパスと同義。 |
| | 主ローブ | アンテナの指向性特性の最大値を有する部分。 |
| | 数値計算 | コンピュータを使って近似的に問題を解くこと。 |
| | 設計変数 | 最適化を実施する際に変更される変数。 |
| タ行 | ダウンチルト | 水平面に対する主ローブ方向の傾き。 |
| | 多次元データ | 1次元以上のデータ |
| | dBm | 電力を1ミリワット(mW)を基準値としたデシベル(dB)の値で表した単位。 |
| | 電磁界解析(シミュレーション) | Maxwell方程式に基づく電磁界の振る舞いを計算機を利用して数値計算で求めること。 |
| | 電波伝搬解析(シミュレーション) | 電波伝搬モデルに基づく電波の減衰を計算機を利用して数値計算で求めること。 |
| | ドミナントパス | 送信位置と受信位置を結ぶ電波の経路のうち最も電波のエネルギーを多く伝送する経路。 |

用語集

| 用語 | | 内容 |
|----|------------------------|---|
| 八行 | パレートフロント | 複数の目的関数を有する最適化問題での最適解の集合を結んだ曲線または曲面。 |
| | ベンチマーク | 基準 |
| | ポリゴン | 平面多角形により立体形状を表現するデータ。 |
| マ行 | Maxwell方程式 | 電磁界を記述する古典電磁気学の基礎方程式。 |
| | 目的関数 | 最適化を実施する際に最小化、または最大化をしたい関数。 |
| ヤ行 | 横浜未来機構 | イノベーション都市・横浜（YOXO）の基盤となる産学公民連携の推進組織。街ぐるみでイノベーション創出を促進する横浜型のイノベーション・エコシステムを形成し、持続可能な希望ある未来の実現を目指す。 https://yoxo-o.jp/organization/ |
| | 横浜未来機構会員企業 | 横浜未来機構に属する企業。正会員90団体：大企業、中小企業、スタートアップ、大学 |
| ラ行 | レイトレーシング | 光の軌跡を光線として追跡する技術。 |
| | ローカル5G | 企業、自治体等が個別に利用できる5Gネットワーク。 |
| | Rohde & Schwarz製エリアテスタ | 基地局のサービスエリア設計、保守に利用されるスキャナ 電波強度が計測できる。 |

ローカル5G 電波シミュレーションを活かした基地局配置計画 技術検証レポート

令和5年3月 発行

委託者：国土交通省 都市局 都市政策課

受託者：アルテアエンジニアリング株式会社・一般社団法人横浜みなとみらい21

本報告書は、アルテアエンジニアリング株式会社・一般社団法人横浜みなとみらい21が国土交通省との間で締結した業務委託契約書に基づき作成したものです。受託者の作業は、本報告書に記載された特定の手続や分析に限定されており、令和5年3月までに入手した情報にのみ基づいて実施しております。従って、令和5年4月以降に環境や状況の変化があったとしても、本報告書に記載されている内容には反映されていません。