送電線ルート検討システムの開発

正員 加藤 二二和 (東京電力)

正員 新藤 誠 (東京電力)

非会員 平田 治彦 (東京電力)

正員 金田 和文 (広島大学)

正員 山下 英生 (広島大学)

Development of a Route Design System for Overhead Transmission Lines

Fujiwa Kato, Member, Makoto Shindo, Member, Haruhiko Hirata, Non-member (Tokyo Electric Power Company), Kazufumi Kaneda, Member, Hideo Yamashita, Member (Hiroshima University)

It becomes more important to evaluate the visual impact of new overhead transmission towers, when designing a route of the transmission lines. This paper proposes a system for designing a route of overhead transmission lines taking into account the visual impact of the towers. The system calculates candidate areas suitable for constructing new towers using visibility simulation techniques. The towers constructed in the candidate areas will be invisible from the specific viewpoint, or have not serious visual impact upon the environment. The system also computes how long the towers exceed the skyline. After determining the position and the height of towers, the user can check the visual impact of the towers using computer generated images. The system can also generate both route maps and section views, and greatly reduce the time to design a route of transmission lines.

キーワード：送電線，ルート選定，景観，地形，可視不可視，コンピュータグラフィックス

1. ま え が き

近年，環境保全に対する意識の高まりから，新規送電設備の立地がこれまでも増して難しくなっている。送電設備立地について地域社会の了解を得るためには，これまで以上に景観に配慮した設計が必要であり，より多くの送電線ルート候補について検討し，多くの資料を作成しなければならない状況となっている。

これまでのルート選定作業は，大まかな流れが，(1) 経過地の検討，(2) 縦断の検討，(3) 景観の検討となっている。景観に関する検討は，現地調査や地形図上の検討，更にはフォトモンタージュというコストの高い手法で行ってきた。しかしながら，よりの確，かつ，効率良く景観に配慮した設計を実施するために，大規模建築物を建設する際の評価手法として主に建築分野で用いられている可視不可視領域シミュレーション技術^{(1)~(4)}やリアリティを持った安価なリアルタイムコンピュータグラフィックス (CG) 技術を取り入れた新たな景観検討手法の開発が望まれている。また，より多くの送電線ルート候補の検討を行うためには，複雑で手作業部分の多い経過地や縦断の検討作業をシステム化する必要がある。

る必要がある。

本論文では，主に山岳地を通過する基幹系送電線のルート選定作業を支援する送電線ルート検討システムを提案し，その有用性を示す。2章では，現状の送電線ルート選定作業を分析し問題点を抽出する。3章では，システム開発のための検討を行い，4章で開発したシステムの機能について述べ，5章で評価を行い，6章で今後の課題を述べてまとめを行う。

2. 送電線ルート選定作業

送電線のルート選定作業は，2地点が与えられ，その間の鉄塔位置と鉄塔の高さ及び鉄塔型を決めるものである。現状と問題点を作業順に以下に述べ，送電線ルート検討システム開発の際に重要となる項目を示す。

〈2・1〉経過地の検討 経過地の検討では，2地点間の鉄塔位置を選定し，複数の候補ルートを地形図上に記入することにより経過図を作成する。その際，自然環境，社会環境，技術的な特性を考慮した上で送電線通過の可否を判断しながら鉄塔建設が可能なルートゾーンを複数抽出する。その後，基本とするルートゾーンを1つ選定した上で，個

別の鉄塔位置を選択する必要がある。そのため、これら送電線の通過を規制する情報（規制情報）を事前に地形図上に記入しておく必要がある。また、鉄塔立地点の地形の特性によっては、設備の大型化や施工方法の高コスト化による建設費の増加を招くことがあるので注意する必要がある。この地形の特性に対する検討は、現地調査や地形図の等高線から地形を読み取りながら行うものであり、熟練を要し、かつ、時間のかかる作業である。

この検討による経過図の作成は、地形図上に色鉛筆で候補ルート等を記入する作業であるため、特に、検討の進行にともなう度重なる修正に時間を要している。更に、国土地理院発行の地形図は複写が制限されているため、必要数だけ地形図上に候補ルートと規制情報を記入しなければならない。

〈2・2〉 縦断の検討 縦断の検討では、上記経過地の検討で得られた複数の候補ルートに対して、鉄塔高と鉄塔型を決める。この作業は、まず、人が地形図の等高線から地形を読み取り、ルートに沿った地形の断面を作図し、前後の鉄塔間の水平距離（径間長）と電線の単位長当りの重量等の架線条件から電線の弛み（弛度）を計算し、電線を追記することにより縦断図を作成する。続いて、地面や樹木、構造物と電線との間に所定の距離を確保できる鉄塔高を決めるための離隔検討を行う。この離隔検討では、電線が風によって横に振れた時を考慮（横振れ検討）する必要があるため、ルートに沿った縦断方向の検討をしながら、ルートに直交する横断方向の検討も行わなければならない。この場合、風速により電線温度が変化し、弛度が異なってくるため、いくつかの代表的な風速に対する弛度を持った電線を作図して検討する必要もある。

また、鉄塔型には、大きく分類して電線の張力を碍子で支える耐張型鉄塔と単に電線の重量のみを支える懸垂型鉄塔があり、後者の方が鉄塔強度が小さく、細い部材で構成できるため建設コストが安いという特徴がある。したがって、大まかに判断して懸垂型をより多く採用したルートの方が、総建設コストを安く抑えることができる。懸垂型の採用には、その碍子にかかる荷重の大きさや向き、電線の入射角等の計算を行う必要があり、これらは鉄塔高さが変わる度に再計算する必要がある。

このように、縦断の検討においても、手作業、手計算部分が多くあり、多大な労力と時間を必要とする作業である。

〈2・3〉 景観の検討 景観の検討では、経過地及び縦断の検討で求めた複数の候補ルートに対して現地調査や地形図上で大まかに鉄塔の見え方を検討し、更にはフォトモンタージュを作成して景観に対する影響を評価している。フォトモンタージュの作成方法としては、現地で撮影した風景写真に、(1) 手書きで鉄塔を書き加える、(2) 鉄塔のシールを貼る、(3) CGで鉄塔を書き加えるというように時代と共に進歩した手法で対応しているが、フォトモンタージュそのものが持つ以下の問題により、やはり作成に労力と時間を要している。

- 書き加える鉄塔の位置、大きさ、向きを写真にあわせるのが難しい。
- 写真撮影のための適切な視点場を選択するのが難しい。
- 写真が不可欠であり、その撮影に時間がかかる。

フォトモンタージュでは、非常にリアリティーのある画像が得られるため、ルート選定後の完成予想図作成用として限られた箇所では利用するには非常に良い手法であるが、検討段階に数多くの候補ルートに対して行うには非効率な手法といえる。

3. システムの具備すべき機能

〈3・1〉 関連研究 経過地及び縦断の検討に関しては、これまでにいくつかのシステムが開発されている^{(5)~(9)}。これらのシステムでは、経過地の検討に不可欠な地図情報は主として地形図画像を使用し、規制情報はマウスかデジタイザで入力する方法を採っている。しかしながら、経過図の出力において必要とされる国土地理院発行 1/25,000 や 1/50,000 地形図にプロットでルートや規制情報を追記する機能を有したものはない。

また、縦断の検討に不可欠な地形形状情報は、一部等高線を使用したシステム⁽⁵⁾もあるが、国土地理院刊行数値地図 50m メッシュ（標高）に代表される格子状に標高値をサンプリングした DEM(Digital Elevation Model)の方が取り扱いが簡単であり、多くのシステムで使用されている。縦断の検討時に行う横振れ検討機能を有するシステムは、古川らが開発した送電線ルート選定用 CAD システム⁽⁵⁾しかなく、検討対象として必要な樹木や建物の領域はデジタイザで入力する方式を採っている。

可視不可視領域シミュレーション技術を応用したシステムは、Doyen-Vignier ら⁽¹⁰⁾や志賀⁽⁹⁾が開発したシステムにおいて、設計後のルートに対して任意の視点場から鉄塔が見えるか見えないかの 2 値情報のみを示す送電線路可視領域図作成に應用されているが、ルート選定の初期段階におけるルートゾーンの抽出に應用しているシステムは存在しない。

〈3・2〉 システムに必要な機能 先に述べた現状と問題点等から送電線ルート検討システムが具備すべき機能は以下のとおりである。

- (1) 経過地検討の第 1 段階において、鉄塔を建設しても見えない、若しくは目立たない領域を計算し、それを景観面からの鉄塔建設が可能なルートゾーンとして抽出するための機能。これにより、最初に鉄塔位置を決める段階から景観に配慮することになり的確な設計が可能となる。
- (2) 経過地検討の第 2 段階において、地形図上で (1) のルートゾーン及び規制情報を考慮しながら候補ルートを入力し、国土地理院発行の地形図にプロット出力する機能。これにより、自然環境などの制約条件を考慮しつつ、併せて景観面を考慮した候補ルートの選定が可能となる。また、経過図増刷の省力化・

図1 システム構成
Fig. 1. System configuration.

短時間化が図れ、画一的な経過図を得ることが可能となる。

- (3) 経過地検討の第2段階において、リアルタイムで地形の断面及び電線を表示する機能。これにより、一目で尾根と谷を把握でき、これまでの等高線を読み取る時間とミスを軽減することが可能となる。
- (4) 縦断の検討段階において、縦断面図を自動で作成する機能と鉄塔の懸垂・耐張型を自動で判定する機能。これにより、これまでに要していた多大な労力と時間を軽減することが可能となる。
- (5) 景観検討の第1段階において、候補ルートの鉄塔の見える量を検討するため、それを数値で示した一覧表と視覚的に確認できる透視図、更には、その鉄塔が見える地点を示す鉄塔可視領域図を作成する機能。これにより、ある程度設計が固まった段階で景観への配慮具合を再確認することができ、確実に景観に配慮した設計を実施することが可能となる。
- (6) 景観検討の第2段階において、リアリティーがあり、リアルタイムで視点移動が可能な透視図を表示する機能。これにより、的確、かつ、容易にフォトモンタージュの写真撮影のための視点場を絞り込むことが可能となる。

現状、これらの機能をすべて併せ持つシステムは存在しなかったもので、開発することにした。

4. 送電線ルート検討システム

本システムは、図1に示すように、中心となる基盤機能と図や帳票を作成する9つの個別機能から構成される。

以下に新たに開発した機能について述べる。

〈4・1〉 基盤機能 送電線ルート選定作業では、従来から地形図とその等高線から読み取る標高が重要なデータであった。また、最終的に鉄塔高を設計し、建設コストを

算出するシステム⁽¹¹⁾では、一般的にDEMが使用されている。これらの点を考慮し、本システムでは、地形図画像データとDEMを読み込み、地形図をマンマシンインターフェースとして、DEMから高さを得る基盤機能を採用した^{(6)~(9)}。

本システムで扱う地形図画像データとDEMを表1に示す。このように、データにより座標系が異なることと、長いルートを扱うために切れ目なく連続して地形図を表示する必要性を考慮して、システムの座標系を直交させた緯度経度とした。そのため、地形図画像については、予め正規化した画像を準備する。なお、測量メッシュについては、鉄塔位置を平面直角座標系(19座標系)⁽¹²⁾で入力する必要性もあることからシステム内でその都度座標変換して利用する方法を採っている。

〈4・2〉 可視不可視領域区分図作成機能 景観面からのルートゾーンを抽出するため、任意の視点場から可視不可視領域シミュレーションをすることにより領域区分図を作成する機能である。可視不可視領域シミュレーションという見える地点と見えない地点の2区分にして表示する考え方は古くから景観評価手法の一つとして使われている手法⁽¹³⁾であるが、ある高さの鉄塔を建設したときにそれが見えない、若しくは目立たない領域を求めてルートゾーンを得る必要がある。上坂ら⁽⁴⁾はスカイラインに注目し、人の目の高さに設定した視点場から見た際に、スカイラインを決定する稜線より手前の領域はスカイラインを越えない最大高さを、その稜線より後の領域は不可視領域の垂直方向の高さ(不可視深度)を求め(図2参照)、それらの高さでいくつかの領域に区分表示する手法を提案している。一般的にスカイラインを越えた鉄塔が山の中腹にある鉄塔に比べて目立つといわれているため、この手法により求まるルートゾーンも検討すべき選択肢の一つと考える。しかし、図2に示すように、スカイラインを決定する稜線より手前に谷がある場合は、視点場から鉄塔が見えないルート選定も可能であるが、この手法ではそれを検討することができない。

これに対応するため、スカイラインではなく各稜線に着目し、図3に示す考え方で可視領域は各稜線を越さない最大高さを、不可視領域は不可視深度のあるバンド幅で再区分する方法を新たに提案する。この結果を可視不可視領域区分図と呼び、例を図4に示す。図3,4共にバンド幅は50mとしている。一般に基幹系送電線の平均高さは約80mであるため、景観面における理想的なルートゾーンは、図3における不可視部分の③~⑤の領域となる。

この機能では、可視不可視領域区分図の他に、従来の可視不可視領域図と上坂らが提案したスカイラインを基準とした領域区分図の3つの図を表示することができる。本システムでは、これらを表示するための再区分に必要な不可視深度等の高さ情報を一度に計算し、その結果を保存する。そして、表示の際に、選択された図の種類に応じて、保存した高さ情報を元に区分表示に必要な計算を実施して図を

表 1 使用するデータ
Table 1. Numerical data.

データの種類	名称	発行元	座標系
地形図画像	数値地図 25000 (地図画像)	国土地理院	ユニバーサル横メルカトル (緯度経度)
	測量図化による地形図	航空測量会社	平面直角
DEM	数値地図 250m メッシュ (標高)	国土地理院	ユニバーサル横メルカトル (緯度経度)
	数値地図 50m メッシュ (標高)	国土地理院	ユニバーサル横メルカトル (緯度経度)
	測量メッシュ	航空測量会社	平面直角

図 2 スカイラインを基準とした領域区分
Fig. 2. Classifications on the basis of skyline.

図 3 可視不可視領域区分図の考え方
Fig. 3. Visibility classifications.

表示している。これにより、最初の計算には、多少時間を要するが、検討が進むに連れて表示する図の種類を変更するだけで、高速に新たな図に表示を変更することを可能としている。この機能により、3.2 節で述べたシステムに必要な機能の (1) を満たす。

〈4・3〉経過図作成機能 地形図上に設けたレイヤに送電線の通過を制限する規制情報をマウス又はデジタイザで閉領域や折れ線として入力する。その後、それらを避け、かつ、可視不可視領域区分図等で抽出したルートゾーンをできるだけ通るように鉄塔位置をマウスで入力する機能である。図 5 に経過図の例を示す。ハッチング付きの緑色の閉領域が規制情報として入力した環境保全地域等であり、青色や赤色の折れ線が入力した複数の候補ルートを示している。

経過地の検討過程を説明したり、最終的に決まったルートを行政に申請する際には、国土地理院発行の 1/25,000 や 1/50,000 地形図ヘルトや規制情報を記入する必要がある。そのため、入力した情報をすべてプロッタで出力する。プロッタへの出力範囲を設定することにより、自動的に国土地理院発行の 1/25,000 や 1/50,000 地形図の図割りに合わせてデータを分割し、図割り単位で順次プロットする。これらにより、3.2 節の要求仕様 (2) の機能を満たす。

図 4 可視不可視領域区分図
Fig. 4. Visibility classification map.

図 5 経過図
Fig. 5. Route map.

地形が険しすぎて建設できない、又は資材運搬のための通路を確保できないなどの状況に陥らないようにするため、周辺の地形を十分確認して、鉄塔位置を決める必要がある。そのため、尾根と谷を間違えることなく一目でわかるように、一つ前の鉄塔位置と現在のマウス位置の地形縦断面をリアルタイムで表示する方法を新たに開発した。図 6 に示す地形確認ウィンドウには、地形の断面の他に、電線、2 地点の標高と径間長などルートを入力する際に参考となる情報を表示する。これは、3.2 節 (3) の要求仕様を満足するものである。

また、後述の縦断面図作成時に行う離隔検討に必要な離隔

図 6 地形確認ウィンドウ
Fig. 6. Section view window.

表 2 離隔検討対象

Table 2. Objects for clearance check.

閉鎖域	樹木、建物、地域区分
折れ線	道路、鉄道、索道、配電線

検討対象も、この経過図作成機能を利用してレイヤを分けて入力する。入力可能な離隔検討対象は表 2 に示すとおりである。

〈4・4〉 縦断面図作成機能 経過図作成機能で入力したルートの縦断面図を作成し、離隔検討を行い鉄塔高及び鉄塔型を決める機能である。ルートに沿って地形断面図を作成すると同時に電線諸元等から弛度を計算して、電線と線下に存在する表 2 に示した離隔検討対象との離隔判定を行う。数多くの離隔検討対象から検討中の電線の線下近辺にあるもののみを高速に抽出するため、minimax テスト⁽¹⁴⁾を導入した。

図 7 は、縦断方向の離隔検討と併せて行う横振れ検討時の電線位置と考慮すべき離隔距離及び離隔対象の横断面を示した図である。無風時の 2 種類の電線温度に応じた弛度 1, 2 における電線位置 P_1, P_2 及び風が吹いたときの電線温度に応じた弛度 3 に対する 2 つの振れ角 θ_1, θ_2 における電線位置 P_3, P_4 とその間の軌跡に対して、それぞれ一点鎖線で示す離隔距離を離隔検討対象の種類毎に設定している。例えば、これら電線位置と地面に対する離隔距離から決まる点線で示す円を合成した太線が地面と交わらなければ地面との離隔は確保される。

また、縦断面図の画面上で鉄塔を選択し、上下の矢印キーを操作することにより、鉄塔の最下支持点高が即座に変更され、離隔が不十分な場合には赤線を表示を行う機能を新たに開発した。この高さ判定と鉄塔の懸垂・耐張型の自動判定を何度か組合せて実行することにより、適切な鉄塔高と鉄塔型の選択が可能となった。従来、手作業で行っていた地形断面の作図や弛度計算の必要がなく、大幅に検討時間を短縮することが可能となった。これらにより、3.2 節の必要な機能 (4) を満足する。図 8 に縦断面図の例を示す。

〈4・5〉 鉄塔可視量一覧表作成機能 経過地及び縦断の検討で決まった候補ルートの各鉄塔が、任意の視点場からの程度見えるかを知るため、可視部分の鉄塔高を示す鉄塔可視量とその角度を示す挟み角 (図 9 参照) を求めて一

図 7 横振れ検討時の横断面
Fig. 7. Cross section view.

覧表とする機能を新たに開発した。この機能は、3.2 節のシステムに必要な機能 (5) のうちの数値で確認する部分を満足する。鉄塔可視量は同じ値でも、視点場とその鉄塔との水平距離 (視距離) に依存して見え方が異なるが、挟み角が同じであれば、視距離が変わっても見え方は変わらないため、この値で評価し 2 度未満を目標値としている。

〈4・6〉 簡易透視図作成機能 前述の鉄塔可視量を任意の視点から視覚的に確認するためとフォトモンタージュ用の写真撮影の視点場の絞り込みを行う機能である。鉄塔可視量を把握しやすくするため、地形の 3 次元モデル中に鉄塔高に相当する縦棒に加え、その最上部 (鉄塔頂部) から一定間隔で横棒を描くことにより、ものさしのように表示する方法を新たに導入した。図 10 に示す簡易透視図では、横棒を 10m 間隔で表示しているため、横棒の数を数えることにより鉄塔可視量を簡単に透視図から得ることができる。また、鉄塔立地点を把握しやすくするため、地形の 3 次元モデルに地形図をテクスチャマッピングし、山名、鉄塔番号、規制情報の表示を行っている。黄色い模様は地形図の等高線、赤い縦横の線が簡易的に表示した鉄塔、白い文字が山名、赤い文字が鉄塔番号、緑色のハッチングが規制情報を示している。これらは、表示モードの変更で非表示とすることも可能である。これにより、3.2 節の必要な機能 (5) の視覚的に確認する部分を満足する。

この機能は、インタラクティブな 3 次元グラフィックスアプリケーション開発用のツールキットである Open Inventor⁽¹⁶⁾ を用いて開発したため、透視図内でマウスを操作することにより、リアルタイムに視点を変更した表示が可能である。これにより、フォトモンタージュ用写真撮影のための視点場を目で確認しながら容易、かつ、的確に絞り込むことが可能となった。図中左上には、視点と注視点の位置情報を表示している。なお、上記横棒は視点移動に追従して常に正面を向くように制御して表示する。

〈4・7〉 鉄塔可視領域図作成機能 鉄塔が見える地点を示す鉄塔可視領域図を作成する機能を新たに開発した。可

図 8 縦断面

Fig. 8. Section view.

図 11 鉄塔可視領域図

Fig. 11. Visible area map for a tower.

図 9 鉄塔可視量と挟み角

Fig. 9. Visible length of tower and its angle.

図 10 簡易透視図

Fig. 10. Perspective view with a simplified tower model.

図 12 詳細透視図

Fig. 12. Perspective view with a detailed tower model.

確認することが可能であり、これと 4.5, 4.6 節で述べた機能を合わせることで、3.2 節で述べた必要な機能 (5) のすべてを満たす。

〈4・8〉詳細透視図作成機能 鉄塔の建設が景観に与える影響をフォトモンタージュほど手間をかけず、かつ、簡易透視図より正確に評価するための機能である。鉄塔は、フォトモンタージュにも使用する詳細に形状を入力した 3 次元モデルを使用して表示する。更に、提案システムの大きな特徴の一つとして、リアリティーを高めるために航空写真を地形の 3 次元モデルにテクスチャマッピングして表示することも可能である (図 12 参照)。また、この機能を利用してフォトモンタージュ用の写真撮影の視点場を絞り込むことも可能である。これにより、3.2 節で述べた必要な機能 (6) を満たす。

〈4・9〉フォトモンタージュ作成機能 送電線のフォトモンタージュを作成する機能である。実際には、鉄塔位置と電線情報を既開発の景観シミュレーションシステム⁽¹⁵⁾に転送し、レンダリングを行う。この景観シミュレーションシ

視不可視領域区分図作成機能が視点場から可視不可視領域シミュレーションを行うのに対し、この機能は対象とする鉄塔頂部から可視不可視領域シミュレーションを行い、可視領域のみを求め表示する。図 11 で示すように計算を行う領域は円で設定する。この図は、赤色で示した地点から円の中心に位置する鉄塔が可視となることを示している。これにより、鉄塔高決定後に鉄塔が見えない視点場の領域を

図 13 フォトモンタージュ
Fig. 13. Photo-montage.

図 14 航空検討図
Fig. 14. Bird's-eye view from airplane.

システムは、鉄塔や送電線に適したデータ量を軽減するデータ構造とレンダリング手法⁽¹⁷⁾により、部品数が多い鉄塔や送電線を高速に表示し、細い物体を表示する際に発生しやすいエリアシングを除去して表示⁽¹⁸⁾できる特徴を持っている。図 13 に複数の風景写真を貼り合わせたパノラマ写真に鉄塔と送電線をフォトモンタージュした例を示す。

〈4・10〉 航空検討図作成機能 高い鉄塔は航空機の飛行の妨げとなる恐れがある。そこで、航空機からの鉄塔の見え方と障害の度合を検討するため、鉄塔位置と地形の関係を示す航空検討図を作成する機能を開発し、システムに組み込んだ。図 14 に示すように、鉄塔頂部を中心に同心円を描くと共に、鉄塔頂部より高い地形の色を黄色に変えることにより、周囲の地形との位置関係を把握しやすい表示を行っている。

5. 評価と考察

〈5・1〉 作業時間の評価 鉄塔 11 基で 1 ルートとして、システム開発前後の各図面の作図時間を比較した一例を表 3 に示す。これまで作成していなかった図とフォトモンタージュを除き、大幅に作図時間が短縮されていることがわかる。また、検討時間を含めた一連の作業時間で比較した場合の一例を示すと、候補ルートを 3 ルート、景観検討のた

表 3 作図時間
Table 3. Drawing time.

図表名	開発前	開発後
可視不可視領域区分図	-	10 分/視点
経過図	2 時間/ルート	30 分/ルート
縦断面図	3 日/ルート	1 時間/ルート
鉄塔可視量一覧表	-	1 分/ルート
簡易透視図	-	2 分/ルート
鉄塔可視領域図	-	1 時間/ルート
詳細透視図	-	4 分/ルート
フォトモンタージュ	2 日/視点	2 日/視点

使用計算機：SGI OCTANE R10000 195MHz

図 15 可視不可視領域区分図 (250m メッシュ)
Fig. 15. Visibility classification map (250m mesh).

めの視点場を 4 箇所とした場合、システム開発前で約 1 ヶ月を要していたものが、約 1 週間に短縮された。

〈5・2〉 可視量の精度の考察 一般的に DEM は、地上の人工建築物や樹木の高さを含まない地表面の標高データである。したがって、可視不可視領域区分図や鉄塔可視量一覧表などの結果は、現実を正確に反映するものではない。しかし、地表面の標高データを使用していれば、これ以上見えることはないという安全側を検討していることとなり、余裕を持った設計を行うことができる。

また、使用する DEM の粗さにより求まる結果も異なる。図 15 は、サンプリング間隔が図 4 で用いた 50m メッシュより 5 倍粗い 250m メッシュを用いて計算した可視不可視領域区分図である。両者を比較すると、図 15 の方が暖色系で示した可視側と判断される領域が多くなっており、使用する DEM が粗いと上記同様安全側を検討しているといえる。これらから、より細かい DEM を用いた方がより厳密な結果を得ることができるが、検討時間と DEM のコストを考えると粗い DEM を用いた検討でも意味があるといえる。但し、このことが理想的なルートゾーンを実際より狭く求めることになり、ルート選定に苦慮することになるのはいうまでもない。

6. あとがき

景観に配慮した送電線ルートを選定するために、主に建

築分野で用いられている可視不可視領域シミュレーション技術と、リアルタイムCG技術を取り入れた送電線ルート検討システムを提案した。本システムにより、鉄塔を建設した際に、任意の視点場から見えない、若しくは目立たない、又はスカイラインを越えない領域を事前に求め、ルート選定時のルートゾーンとすることにより、景観に一層配慮した設計が可能となった。また、設計後のルートの見え方を透視図で視覚的に確認することにより、確実な設計が可能としている。更に、経過地や縦断の検討をシステム化することにより、1ルート当りの検討時間を約1/4に短縮できた。これにより、これまで以上の数の候補ルートの検討が可能となり、より良い送電線ルートを選定することが可能となった。

今後は、複数の視点場に対する可視不可視領域シミュレーション結果を総合して評価できる表示方法について検討していく必要がある。また、本システムでは、鉄塔の可視量のみを評価したが、電線の可視量も評価する必要があると考える。

本論文の図4,5,10,11,15では、国土地理院刊行数値地図25000(地図画像)を色を変えて使用した。

(平成11年4月21日受付, 同11年9月8日再受付)

文 献

- (1) 磯田節子, 両角光男, 位寄和久: ランドマークの可視・不可視領域に着目した大規模建築物の影響評価モデルの検討, 日本建築学会計画系論文集, 456号, pp. 163-169 (1994)
- (2) 東海林克彦, 齊藤馨: メッシュ標高モデルを用いた可視・不可視領域シミュレーションの再現性に関する調査, ランドスケープ, 58巻, 5号, pp. 189-192 (1995)
- (3) 草間晴幸, 鈴木斎: 国土数値データを利用した環境シミュレーションシステム, 土木情報システム論文集, 6巻, pp. 41-46 (1997)
- (4) 上坂明, 有馬隆文, 佐藤誠治: CGを用いた大規模建築物建設に伴う眺望景観への影響度に関する研究, 日本建築学会・情報システム技術委員会第20回情報システム利用技術シンポジウム論文集, pp. 229-234 (1997)
- (5) 吉川修次, 村田利彦: 送電線ルート選定用CADシステム, 電気評論, 73巻, 4号, pp. 461-467 (1988)
- (6) 大野友義, 赤松幸夫: 鉄塔位置選定システムの開発, 電気協会雑誌, 851号, pp. 18-21 (1994)
- (7) 富田芳昌: 送電線ルート選定支援システム, 送電線建設資料, 第42集, pp. 1-29 (1996)
- (8) 寺田賢治: CGを応用した送電線ルート選定システムの開発, 電気現場技術, 422号, pp. 38-41 (1997)
- (9) 志賀正明: 中部電力における技術革新のあゆみ—送電線基本ルート選定支援システムの機能強化—, 電気評論, 84巻, 1号, pp. 105-106 (1999)
- (10) C. Doyen-Viguiere, M. Gaudry and G. Laurent: Digital Simulation for Better Integration of Overhead Transmission Lines in The Environment, Proc. of CIGRE SC22 '96, pp.1-8 (1996)
- (11) 渡辺昌人: 送電線調査設計支援システムの開発, 日本電気協会第70回通常総会研究発表会論文集, pp. 40-41 (1991)
- (12) 国土地理院監修: 数値地図ユーザズガイド(改訂版), 日本地図センター (1994)
- (13) 樋口忠彦: 景観の構造, 技法堂 (1975)
- (14) 中前栄八郎, 西田友是: 3次元コンピュータグラフィックス, 昭晃堂 (1986)
- (15) 金田和文, 山下英生, 多田村克巳, 加藤二二和, 野口高男: CGを用いた景観シミュレーション, Visual Computing '93論文集, V-10, pp. 173-178 (1993)
- (16) J. Werneck: The Inventor Mentor, Addison Wesley (1994)
- (17) K. Kaneda, H. Iriyama, F. Kato, and E. Nakamae: Realistic Image Synthesis of Complex Objects Using a Simplified

Model, Proc. of Modeling in Computer Graphics, pp. 277-291 (1991)

- (18) 加藤二二和, 金田和文, 森重樹, 山下英生: 景観評価画像作成のための物体属性を考慮したアンチエイリアシング手法, 情報処理学会論文誌, Vol.38, No.12, pp. 2526-2533 (1997)

加藤 二二和 (正員) 1964年12月22日生。1989年3月広島大学大学院工学研究科博士課程前期システム工学専攻修了。同年4月東京電力(株)に入社。現在、システム研究所にて、電力分野へのコンピュータグラフィックス技術応用システムの研究開発に従事。情報処理学会会員。

新藤 誠 (正員) 1967年10月24日生。1992年3月群馬大学大学院工学研究科博士前期課程電気電子専攻修了。同年4月東京電力(株)に入社。現在、システム研究所にて、電力分野へのコンピュータグラフィックス技術応用システムの研究開発に従事。

平田 治彦 (非会員) 1956年12月22日生。1976年3月東電学園高等部卒業。同年4月東京電力(株)に入社。現在、送変電建設所にて、基幹系送電線設計建設業務に従事。

金田 和文 (正員) 1959年10月1日生。1984年3月広島大学大学院工学研究科博士課程前期システム工学専攻修了。同年4月中国電力(株)に入社。1986年広島大学工学部第二類(電気系)助手, 1995年同大学同学部助教授。コンピュータグラフィックス, 画像処理の研究開発に従事。工学博士。情報処理学会, 電子情報通信学会各会員。

山下 英生 (正員) 1941年10月22日生。1968年3月広島大学大学院修士課程修了。同年広島大学工学部電気工学科助手, 1978年同大学同学部第二類(電気系)助教授, 1992年同大学同学部教授。有限要素法による電気機器の電磁界解析, コンピュータグラフィックスに関する研究に従事。工学博士。IEEE, 情報処理学会, 電子情報通信学会各会員。