Detection of Damaged Cables Using Aerial Video for Inspection of Transmission Lines

Ryuichi Ishino Member (CRIEPI, ishino@criepi.denken.or.jp)

Fujio Tsutsumi Non-member (CRIEPI, tutumi@criepi.denken.or.jp)

Yoshiyuki Ueno Non-member (Shikoku Electric Power co. inc., ueno14462@yonden.co.jp)

Keywords: fault detection, image processing, image recognition, inspection, overhead ground wire

Many utilities now use helicopters to conduct transmission line inspections to identify conductor and component damage and corrosion. As shown in Fig. 1, this inspection task is a two stage operation namely, (1) video recording and (2) video inspection to identify the damage. The latter operation is particularly difficult for staff trying to spot conductor damage resulting from a lighting stroke e.g. arc marks or cut strands etc. In practice, one or more members of staff

Fig. 1. Conventional cable checking using videos obtained from aerial inspection of transmission lines

Fig. 2. Hardware configuration of the developed system

often undertake the video inspection. We have resulted in the development of a system that automatically detects conductor damage as shown in Fig. 2.

The system detects arc marks by checking brightness. First statistic information, like mean of brightness of a cable and standard deviation of the brightness of the cable, is calculated. If there is an arc mark on a cable, the brightness of the arc mark smaller than the brightness of the cable (Fig. 3). And, the system also detects cut wires by comparison between the contour of the cable, which is checked, and the ideal cable shape.

To confirm the performance of the detection system developed it was applied to 20–10 second line inspection videos that contained arc marks and a cut wire. In total, some 6000 images (20 videos $\times$ 10 seconds $\times$ 30 images/second) were checked. The detection results that are given in Table 1 show that 97.8% of the images (5509 + 358) were correctly processed. The system missed four of all the images with damaged cables. But all cases that included a damaged cable were detected. This result confirms that the developed system is a useful tool for transmission line maintenance.

Fig. 3. Detection of arc marks

Table 1. Detection results

Fact \ Result	No Damage	Damage
	No Damage	Damage
No Damage	<u>5509</u>	4
Damage	129	<u>358</u>

送電線点検のための空撮映像を使った架空地線の異常検出

正 員 石野 隆一* 非会員 堤 富士雄*
非会員 上野 嘉之**

Detection of Damaged Cables Using Aerial Video for Inspection of Transmission Lines

Ryuichi Ishino*, Member, Fujio Tsutsumi*, Non-member, Yoshiyuki Ueno**, Non-member

A detection system for cables damaged by lightning stroke is developed using videos obtained from an aerial inspection of transmission lines. The system detects arc marks and cut wires. Arc marks are detected by statistical analysis of the brightness of a cable image. Cut wires are detected by comparing the contour of the cable, which was obtained with a video camera, with its ideal shape. The developed system was applied to videos of 20 cases, which included a damaged cable. The total number of images was 6000. The system could detect all types of cable damage. In 97.8% of images, the system worked well, making it suitable for aid in the inspection of transmission lines.

キーワード：異常検出，画像処理，画像認識，点検，架空地線

Keywords: fault detection, image processing, image recognition, inspection, overhead ground wire

1. はじめに

送電線の保守・管理のために、ヘリコプターによる送電線巡視が行われている。特に、雷撃などにより、損傷を受けた箇所を早期に発見し、損傷箇所を補修することが、供給信頼度の維持に不可欠となっている⁽¹⁾。また、アセットマネジメント観点からも、送電設備の状態のモニタリングの重要性が指摘されており⁽²⁾、送電設備の状態把握の一つの手段として重要である。送電設備の状態把握をきめ細かに行うことと、ヘリコプターの飛行コスト低減を目的として、無人ヘリコプターの活用も検討されている⁽³⁾。

ヘリコプターによる架空地線（地線）の巡視点検は、図1に示すように、まず、(1)ビデオカメラで架空地線を撮影し、巡視終了後、(2)目視により行われている。異常箇所を検出するために、ビデオをスロー再生し長時間にわたって、映像をチェックするため、多大な労力と時間を必要とする。また、見落としを減らすために、作業員二人によるダブルチェックが行われる場合もある。

これまで、この業務を支援するために、ワークステーションをベースにした高価なシステムが開発されている⁽⁴⁾。ハー

ドウェアの低価格化はこの10年間に進み、10万円以下のパーソナルコンピュータでも、10年前のワークステーション以上の処理能力を有する。そこで、筆者らは、低価格なハードウェアを用いて、架空地線の点検作業の負荷の軽減と効率化させるシステムとして、架空地線異常検出システムを開発した。開発したシステムは図2に示すような、パーソナルコンピュータを基本にした構成からなっており、アーケ痕や素線切れを自動検出するものである。

本論文では、2章において、文献(4)で開発されたシステムの問題点を示す。3章において、筆者らが開発したシス

図1 架空地線点検業務

Fig. 1. Conventional cable checking using videos obtained from aerial inspection of transmission lines.

* (財) 電力中央研究所
〒201-8511 狛江市岩戸北 2-11-1
Central Research Institute of Electric Power Industry
2-11-1, Iwado-Kita, Komae 201-8511

** 四国電力（株）
〒760-8573 高松市丸の内 2 番 5 号
Shikoku Electric Power co. inc.
2-5, Marunouchi, Takamatsu 760-8573

図 2 地線異常検出システムの構成

Fig. 2. Hardware configuration of the developed system.

テムについて、地線部分をビデオ画像から自動的に抽出し、素線切れとアーク痕の検出手法について述べるとともに、2章で示した問題点を解決する手法と有効性を示す。最後に、実際の点検画像に適用した結果を示し、開発したシステムが有効に機能することを示す。

2. 既提案システムの問題点

地線の異常検出をコンピュータで自動的に行わせるには、地線の映っている画像中より、精度良く地線部分を抽出する必要がある。地線部分を確実に抽出できれば、そこに映っている形状や明るさ分布の解析から異常箇所を検出できる。

画像処理技術を用いた点検・計測システムは、適用が容易な対象に対して、導入が広がっている。例えば、工場の組み立てラインの検査や侵入者監視などである。工場の組み立てラインでは、光の当たり方などの撮影条件を自由にシステム設計者が決定できるため、対象物体を精度良く抽出できる。一方、撮影条件をシステム設計者側で自由に決定しにくい、屋外での人物の追跡などは、人の輪郭を精度良く抽出する必要はなく、おおよその固まりとして抽出できれば、目的を達成することができる。

上記の例に対し、地線点検では、日照条件の変化や地線とカメラの位置関係の変動により、撮影条件が一意に定まらない条件で、精度良く地線部分を抽出する必要がある。従って、地線点検に必要とされる技術は、上記の工場の組み立てラインでの点検や屋外での人物追跡で考慮する必要のなかった問題を解決する必要がある。

既に提案されている同種のシステムである文献(4)では、地線を抽出するために、画像全体に対し、画面の上下方向から輝度値の差分を計算し、差分のピーク検出により地線

(a) Image where edge is detected hard

(b) Peak brightness subtraction does not exist on cable contour

図 3 エッジ検出を誤る例

Fig. 3. Example of extract error of cable edges.

の輪郭を求めている。これは、所謂、エッジ検出というテクニックであるが、地線以外の背景が暗く、地線の素線の一本一本が明瞭に見えない場合は、文献(4)にあるように精度良く地線を抽出できる。

しかし、背景と地線の輝度値に明瞭な差がない場合には、地線の輪郭でエッジのピークは現れず、地線の輪郭線の内側にピークが現れる。また、背景が暗い場合においても、素線の一本一本の間に影ができるような日の当たり方をした場合にも、地線の輪郭線の内側にエッジが求まる。図 3(a)は、この例を示したものである。図 3(b)は誤った原因を模式的に示したものである。図中の実線は、上下画素の輝度値の差である。地線の輪郭付近で確かに輝度値の差分のピークは現れるが、最大のピークが素線間に現れる。この結果図 3(a)のようなことが生じる。

つまり、文献(4)のような、単純なエッジ検出だけでは、背景の状態や日照条件などの撮影条件により、地線の輪郭を正確に抽出できない場合がある。地線の映り方は時々刻々変化し、例えば、図 3 の 5 フレーム後 (165 msec 後) には、図 4 のように、文献(4)の手法を用いても、素線間が明瞭でないため、地線抽出をうまくできる画像が現れる。このように、時々刻々映り方が変化する画像に対し、地線を精度良く抽出するためには、単純にエッジ検出を行うのではなく、地線画像特有の特徴を活用して地線抽出を行う必要がある。

図 4 輪郭抽出がうまくいった例

Fig. 4. Success of extraction of the contour of the cable.

3. 空地線異常検出システムの概要

図 5 に開発したシステムの処理の流れを示す。システムは (A) 録画したビデオのデジタル化 (B) 地線の初期位置指定 (C) 地線部分の特定 (地線部分の抽出と正常な地線の形状推定) (D) 異常検出 (素線切れの検出, アーク痕), (E) 異常検出画像の記録からなる。

〈3・1〉ビデオ画像のデジタル化 (A) 開発したシステムでは、いったんデジタルビデオテープ (DV テープ) の画像データをハードディスクに記録した後、異常検出処理を行う。これは、次の 2 つの理由によるものである。(1) 実時間で異常検出処理を行うのは困難なためと、(2) 処理後の異常箇所近傍の画像を表示して、点検者が異常を確認する必要があるためである。特に、(2) については、PC 上で簡便に異常箇所を確認できれば、他の機器を起動し、別のモニターで改めて確認するという作業が省け、作業の効率化も期待できる。また、DV テープの画像データはタイムコードも記録することが可能であり、ビデオデータと検査結果の照合を、タイムコードを用いて行う必要があることから、DV テープの画像データを IEEE1394 インタフェースを使ってハードディスクに記録した。

〈3・2〉地線部分の指定 (B) 〈3・1〉節のデジタル化を行った後、作業者が地線部分をマウスでクリックすることで、地線の初期位置を指定する。図 6 に初期入力後の画面を示す。図中の□の位置に地線があることをシステムに示し、以降これを地線の初期位置として、ヘリコプターの飛行により、時々刻々変化する画像中の地線の位置を自動的に推定する。

〈3・3〉地線部分の特定 (C) 図 6 で指定された 3 つの□は、地線の画面中での移動を自動的に追跡するものである。つまり、図 6 中の 3 つの□は、地線追跡用の 3 点を示している (以降、□を追跡点とする)。初期設定として、地線位置を入力後、図 7 に示すように、追跡点を手掛かりにして、地線部分を自動的に画像中から切り出す地線部分の特定処理を行う。この例では、地線の中心から ± 40 画素を切り出した。図 8 に特定処理の内容を示す。まず、図 6 で、地線の初期位置を入力すると同時に、地線の輝度パター

図 5 地線異常検出システムの概要

Fig. 5. System flow diagram.

図 6 地線の初期位置の入力

Fig. 6. Inputting the point for the initial position of a cable to be checked.

図 7 地線部分の特定

Fig. 7. Extraction of a cable in an image.

ン (テンプレート: 画像サイズ: 縦 $\times$ 横 = 20×4) を作成する。ここで作成したテンプレートと類似した輝度パターンと似た領域をフレーム (点検する画像) ごとに探索して、地線を画像より抽出している。この探索領域は図 8 に示す縦長の領域 (横幅 2 画素, 縦幅 60 画素) とした。探索する方向は、横方向の探索領域の位置は変化させず、縦方向にのみ移動させた。これは地線が画面内の左右にまたがる領域であり、移動は上下に限定されていることを前提としているためである。

地線を探索するための、類似性の評価には、(1) 式を用いた。これは、テンプレートと着目画素近傍との輝度値の相違を計算するものである。その相違が最小となった位置に地線が移動したものと地線の移動位置を推定した。ま

図 8 地線領域の特定処理

Fig. 8. Extraction process of a cable in images.

図 9 追跡点の移動量に着目した追跡精度の向上手法
Fig. 9. Improvement of tracking performance by equalization of three velocity vectors.

た、地線部分の特定は、図 7 のように正確に切り出す必要があり、その精度向上手法を図 9 に示す。ここで次のような二つの前提条件設ける。(1) 対象としている地線は時間と共に変形しない剛体である。(2) ヘリコプターは地線撮影開始後、地線に沿って平行に飛行するものとし、カメラアングルの操作は上下・左右のみとする。つまり、カメラと地線の相対運動に回転運動は存在しないものとする。この二つの前提条件において、地線の探索に使った 3 つの矩形の画面上での単位時間当たりの移動量が位置によって異なることはない仮定できる。従って図 9 に示すように、3 つの矩形の移動量（速度ベクトル）を比較し、他に比べ異常値をとった追跡点はその追跡点と同じ速度ベクトルとなるように移動量を調整し、地線部分の特定処理に対し、各追跡点が間違った特定をすることを防いでいる。

$$\text{Similarity} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sqrt{I^2(k+i, l+j) - \text{cable_pattern}^2(i, j)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、cable_pattern は、地線を示す輝度パターンであり、その画像サイズは $M \times N$ である。ここでは、図 8 に示したように、 20×2 としている。また、 $I(k, l)$ は検査している画像中の横 k 、縦 l の位置の輝度値を示す。

図 10 地線と背景の輝度パターンの違い

Fig. 10. Difference of brightness pattern between cable and background.

〈3・4〉 異常検出 (D) 自動で異常検出を行う部分の処理である。以下では、異常検出に必要な前処理と異常の種類に応じた異常検出法に分けて述べる。

〈3・4・1〉 地線のエッジ検出 地線エッジの検出は、図 7 で示された地線部分について、上下に隣接する 1 画素との輝度値の差分をとり、その結果があるしきい値を越えた部分を地線のエッジとした。ここで、しきい値は安定してエッジを検出できる値をサンプル画像から実験的に求め 20 とした。

さらに、差分が 20 を超える画素が複数でくるため、ここでは、エッジ候補のうち、その画素を境にして、上下の矩形領域内の明るさの分布（テクスチャ）を調べた。これは、地線の境界では、カメラのフォーカスが合っている地線部分は様々な明るさ（輝度値）となるため、矩形領域内の輝度値の分散が大きくなる。一方、カメラのフォーカスが合っていない背景は、一様な輝度値になっているため、輝度値の分散は小さくなる。この様子を模式的に示したものを図 10 に示す。つまり、提案手法は、テクスチャの一様性の有無により地線と背景との境界を識別しており、2 章で記した、地線点検画像の特徴を利用した手法である。ここで、輝度の分散を求める矩形領域のサイズは、 3×3 画素とした。サイズを大きくすれば、精度は上がると思われるが、計算量を増やさないため 3×3 とした。

〈3・4・2〉 テクスチャの一様性に基づく地線のエッジ検出手法の有効性 本手法の有効性を示すために、文献 (4) で行われている、上下の地線の推定輪郭線が不平行な場合と、各エッジの間隔が狭くなり有効データが少なくなった場合とを地線検出失敗として、地線検出の失敗数を計数した。具体的には、上限の地線の輪郭線の傾きの差が 0.05 以上、地線の上下のエッジの幅が 30 ± 5 画素とし、その間に含まれるデータが 240 点（画面の横方向が 480 点あるため全体の半分）未満である場合を検出失敗とした。適用した画像の例を図 11 に示す。図 11(a) は、文献 (4) のエッジ検出だけを用いた手法が有効に機能すると考えられる、素線の一本一本が明瞭でない画像であり、図 11(b) は、素線間の影が明瞭な画像である。これらの画像に適用した結果を表 1 に示す。図 11(a) は、約 1 分 18 秒（2360 枚）分で

(a) Image where each wire is not visible

(b) Image where each wire is visible

図 11 性能比較に用いた画像の例

Fig. 11. Example Images which are used to compare edge detection techniques.

表 1 提案手法と文献(4)とのエッジ検出の比較

Table 1. Comparison between proposed method and edge detection on Ref. (4).

Edge detect Image type	Proposed method	Reference[4]
Each wire is not visible	0.6% (15)	1.2% (29)
Each wire is visible	0.2% (8)	10.5% (551)

あり、図 11(b) は、約 2 分 55 秒 (5269 枚) 分である。結果は、それぞれの画像枚数に対する割合で示した。括弧は、実際に失敗した画像枚数である。図 11(a) に対しては、失敗した割合は、総画像枚数に対し提案手法、文献(4)の手法共に 1% 程度である。しかし、図 11(b) については、従来手法では約 10 倍も多く失敗しており、地線の映り方により地線のエッジ検出性能が大きく異なることがわかる。一方、提案手法は、検出性能がどちらも 1% 以下であり、映り方に依存しないことがわかる。また、図 11(a), (b) どちらの画像に対しても、文献(4)の手法より検出性能が向上していることもわかり、提案手法が有効なことがわかる。

〈3・4・3〉 正常な地線の輪郭線決定 図 12(a) のような地線からの突起部分として現れる素線切れの判定を行うためには、正常な地線の輪郭情報を必要とする。そのための輪郭情報は次のようにして求めた。まず、〈3・4・1〉項で求めた、エッジ情報を基に、着目画素の左右 15 画素のエッジの垂直方向の座標の平均をとる。次に、値が極端に異なっている点を除いたエッジに対し、最小二乗法を使って直線当てはめを行い、これを地線の輪郭線とした。その様子を図 12 に示す。

図 12(a) が対象画像で、上部に素線切れが現れている。この画像に対し、エッジ検出をしたものが図 12(b) である。左右近傍の平均値から垂直方向の座標位置が極端に異なったものを除いて表示したものが図 12(c) である。これを元に最小二乗法による直線当てはめを行ったものが図 12(d) である。この輪郭線と図 12(b) を併せて表示したものが図 12(e) である。

このように、地線からの突起部分として現れる素線切れが存在する場合には、正常な地線の輪郭線からある程度離れたところにエッジがまとまって存在することがわかる。

〈3・4・4〉 素線切れの検出 〈3・4・3〉項の図 12 で示したように、素線切れは、地線の輪郭線、図 12(f) Ideal Point から何画素か離れて切れたエッジが現れる (Real Point)。これを利用して図 12(f) のように、輪郭線からあるしきい値以上離れたエッジが現れた場合 (図 12(f) では、Ideal Point の Y 座標: Y_{ideal_p} と Real Point の Y 座標: Y_{real_p} との差、つまり、 $|Y_{ideal_p} - Y_{real_p}| \geq \text{Threshold}$ の場合) に素線切れと判定している。ここでは、10 画素以上離れたエッジが 20 画素以上の長さにわたって現れた場合、その部分を素線切れがあったと判定している。

〈3・4・5〉 アーク痕の検出 図 13(b) に示すように、水平画素番号 (x) ごとに垂直方向の輝度値の平均を求め、x の輝度値 $I(x)$ とした。ここで x は $0 \leq x < 720$ の自然数である。

次に、図 13(c) のように、地線領域内の平均輝度値と標準偏差 (σ) を求め、それに基づいて、アーク痕等による地線表面の異常検出のしきい値を (2) 式のように決定した。最終的には、しきい値からはずれた輝度値が連続して何画素か現れた場合を異常とした。このように、画像フレームごとにアーク痕のしきい値を決定しているため、時々刻々と点検中に変化する日照条件の影響を無くしている。

最後に、図 13(d) にアーク痕があった場合の各水平画素番号の輝度値の様子を示す。この図にあるように、アーク痕があった場合、しきい値からはずれた値になっており、異常検出が可能ながわかる。

$$\text{しきい値} = \text{地線の平均輝度値} \pm \alpha \times \sigma \cdots \cdots (2)$$

ここで、 α は任意の係数

〈3・5〉 異常個所を含んだ静止画の生成 (E) 〈3・4〉節の処理で異常個所が検出されるとその部分を含んだ静止画をタイムコードを表示した形で記録する。図 14 のように、

(a) Sample image of a cut wire

(b) Contour of the image

(c) Contour using points which are not outliers

(d) Analysis of the contour of the ideal cable using least-squares approximation (line-fitting process)

(e) The contour of the cable and the ideal cable shape

(f) Detection of a cut wire by comparison between the contour of the cable and the ideal cable shape

図 12 地線エッジと輪郭線の推定

Fig. 12. Detection of cut wires.

(a) Sample cable image

(b) Calculation of mean brightness on x

(c) Mean of cable brightness

(d) Average brightness in a cable image, and the threshold of brightness of an undamaged cable

図 13 アーク痕のある画像の地線の輝度値

Fig. 13. Detection of arc marks.

図 14 異常ありと判定された画像の出力例

Fig. 14. Sample output result.

JPEG の画像ファイルとして記録し最終的な判定を作業者が目視により確認する。

4. 実験結果

開発したシステムの有効性を確認するために、適用した全フレーム数 6000 枚の画像 (20 種のビデオ, 各 10 秒分) について、異常検出能力を調べた。アーク痕検出のための α は、サンプルデータを使い、実験的に決定し、0.9 とした。また、以下の実験で使ったパーソナルコンピュータは、CPU2.8 GHz のもので、10 秒のデータを処理するのに、10~15 秒を要した。

実験結果を表 2 に示す。正常な状態でない地線の検出は 4 枚を除き検出できた。また、正常な部分を異常と判定したのは、129 枚あり、合計で 133 枚の画像について、誤判定を下した。これより、開発したシステムの判定能力は、表の下線で示した部分が正常に判定できており、計 5867 枚あるので、 $5867/6000 \times 100$ で約 97.8%であった。異常があるにもかかわらず、見逃した 4 枚については、連続する前後のフレームで異常と判定しているため、異常を見逃した事例は無く 20 ケース全てについて異常を検出できた。

表 2 正常・異常の判定

Table 2. Detection results.

Fact \ Result	No Damage	Damage
No Damage	<u>5509</u>	4
Damage	129	<u>358</u>

5. おわりに

本論文では、ヘリコプターによる送電線巡視映像からのビデオ画像処理による架空地線異常検出システムについて述べた。

フォーカスの合っている地線部分とフォーカスの合っていない背景部分とを、画素毎に周囲の輝度値の分散を利用して地線のエッジを検出するテクスチャの一様性の有無によるエッジ検出手法を提案し、撮影条件が異なる状況で撮影された画像に対し、従来のシステムでは、撮影条件が変わるとエッジ検出が10倍、行えなくなるのに対し、提案手法では、撮影条件に依存せず安定にエッジ検出を行えることを実験的に示した。

開発した手法は、地線のエッジをテクスチャの一様性の有無により検出し、例外値を除いた有効エッジから推定される正常な地線の輪郭線情報を利用し、地線の輝度の平均値と標準偏差から決まるしきい値との比較からアーク痕を検出し、正常な地線の輪郭線と実際の地線のエッジとの距離を利用して、素線切れを検出するものである。実際に異常を含んだビデオデータ20種について検証を行ったところ、97.8%の判定能力であることを実験的に示した。また、見逃した異常を含んだ画像についても、連続する前後の画像から異常を検出できており、適用した20種の異常すべてを検出でき、異常があることを検出する目的に対して、正常に機能することについても述べた。

(平成17年6月14日受付, 平成17年11月4日再受付)

文 献

- (1) EPRI: "EPRI Aerial Inspection System All Set for Takeoff", http://www.epri.com/corporate/discover_epri/news/2001releases/011017_aerial.html
- (2) L.L. Lai: Power System restructuring and deregulation, pp.294-322, John Wiley & Sons (2001)

- (3) 志茂洋二:「無人ヘリコプターによる送電線巡視システムの開発」, 電気現場技術, Vol.44, No.512, pp.52-55, 電気情報社 (2005)
- (4) H. Tono'oka, M. Kobayashi, T. Takenaka, and K. Ymamoto: "Image Processing Technology for Automatic Power Line Inspection", *Mitsubishi Denki Gihō*, Vol.66, No.11, pp.52-56 (1992) (in Japanese)
外岡宏章・小林益一・竹中俊夫・山本健司:「送電線点検作業への画像処理技術の適用—電線異常箇所自動判定装置—」, 三菱電機技報, 66, No.11, pp.52-56 (1992)

石 野 隆 一 (正員) 1989年3月横浜国立大学工学部電子情報工学科卒業, 1991年3月横浜国立大学大学院工学研究科博士課程前期終了。1991年4月(財)電力中央研究所入所, 現在に至る。主に, 画像処理による設備監視に関する研究に従事。電子情報通信学会会員。

堤 富士雄 (非会員) 1988年3月九州大学工学部情報工学科卒業。1990年3月同大学大学院工学研究科情報工学専攻修士課程修了, 1990年4月(財)電力中央研究所入所, 現在に至る。工学博士(九州大学)。主として情報検索システムのユーザインタフェースに関する研究に従事。電子情報通信学会, 人工知能学会, 情報処理学会, 日本ソフトウェア学会各会員。

上 野 嘉 之 (非会員) 1997年3月早稲田大学理工学部電気工学科卒業。同年4月四国電力(株)入社。現在, 電力輸送本部送変電部所属。2002年3月~2004年2月(財)電力中央研究所主任研究員。主として, 部門業務システム開発, 研究開発業務に従事。