

画像解析・AI技術を活用した 送電線・鉄塔の保全高度化

上條朋彦*
Tomohiko Kamijo
久保田雅彦*
Masahiko Kubota
古元宏樹*
Hiroki Komoto

中川愛梨†
Airi Nakagawa
岩本瑞樹‡
Mizuki Iwamoto

Advanced Maintenance of Power Lines and Steel Towers by Using
Image Analysis and AI

*三菱電機㈱ 電力システム製作所
†同社 情報技術総合研究所
‡九州電力送配電㈱

要 旨

国内電力会社の送配電部門が担う設備点検は、ヘリコプターで撮影した送電線や鉄塔画像を人間が目視で劣化度合いを判定しており、大きな業務量になっている。

この課題解決のため、AIや画像解析技術を活用して設備の劣化状況を自動で判定する手法を九州電力送配電㈱と共同で検証した。送電線の例では、見落とし防止のため過検出する課題に対して、AIを組み合わせることで異常箇所を100%検出(正常を異常と判定した過検出が1.1%あり)できている状況である。この手法を用いることでヘリコプター撮影結果の確認や報告書作成が人手と比較して91.0%削減できる見込みで、点検業務効率化や安全性向上に大きく寄与する。

1. ま え が き

国内電力会社の送配電部門は、電力供給の中核として地域社会の公共インフラである大量送配電網の維持・運用を行っており、発電所で作られた電気を需要家に安全・安定に供給するという使命を担っている。一方、設置後50年を超える高経年設備の増加、労働人口の減少、災害の激甚化、再生可能エネルギー導入拡大など社会的な背景が大きく変化しており、従来手法だけでは電力の安定供給を維持することが困難になっている。特に送配電設備は発電設備と比較して設備数が多く、高所・へき地・地中など巡視点検に係る時間的・人的負担、安全向上の必要性が大きい。これら構造的な課題や様々な環境変化に対応するため、官民が連携し、スマート保安と呼ばれる各種の高度なデジタル技術導入の検討を進めている。

三菱電機が取り組んでいる電力送配電分野でのスマート保安の全体像を図1に示す。三菱電機は、送電線及び鉄塔の巡視点検に着目し、ヘリコプターで撮影した画像から点検対象の設備を抽出し、劣化を自動判定するためのAI技術の実証、評価に関する取組みを九州電力送配電㈱と共同で実施中である。

本稿では、共同研究の過程で発生した技術課題と解決法、及びその評価、今後の展望について述べる。

2. AI・画像解析を活用したシステム概要

送電線の点検は、ドローンやヘリコプターで撮影した画像や動画から作業員による目視確認で実施している。異常見落としを防ぐためにスロー再生や作業員2名によるダブルチェックを実施している一方で、画像の大半は正常な電線であり、大変非効率な状況である。また、鉄塔点検は作業員が昇塔し、目視確認で鉄塔部材の劣化度合いを確認しており、作業効率だけでなく安全性にも課題がある。これら課題解決のため、送電線及び鉄塔の点検を効率化する手法としてヘリコプターの撮影画像(約1億画素の超高解像度静止画カメラによる撮影)を用いて、システムが自動的に異常箇所や劣化部位を抽出するシステムを開発した。

2.1 送電線異常検出

ヘリコプターで撮影した画像から送電線の異常検出を自動化するためには、現状の目視確認の判定精度を落とさず確実に異常を検出する必要がある。このため人による目視確認の判定手順と同様に、送電線異常抽出、送電線異常AI判定の二つの機能を持つシステム構成としている(図2)。

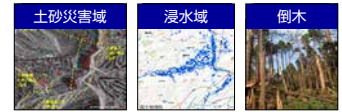
送電線異常抽出処理では、(A)送電線領域抽出、(B)異常箇所抽出の一次判定を行っている。(A)で、色情報を使った検出では、送電線と背景の区別ができずに見逃しが生じやすいため、形状から推定した領域内の送電線を一本ずつ検出し、輪郭線を見つけることで、正確な領域を抽出する。(B)は、画像の状態によって評価に使用する値を正規化することで、画像の値に応じて実質的にしきい値を変動させる。正規化した値に固定のしきい値を適用することで、画像の値に合わせて異常

ドローン点検対象の自動追尾技術による巡視効率化

- 従来目視で行われていた送電設備点検を、ドローンで撮影した結果に基づく点検に置き換えることで、省人化・省力化・安全性向上を達成する。
- ドローン搭載センサー(カメラやLiDAR等)の観測情報に基づいて、継続的に点検対象を捕捉できるようにドローンを制御し、撮影漏れを回避する。

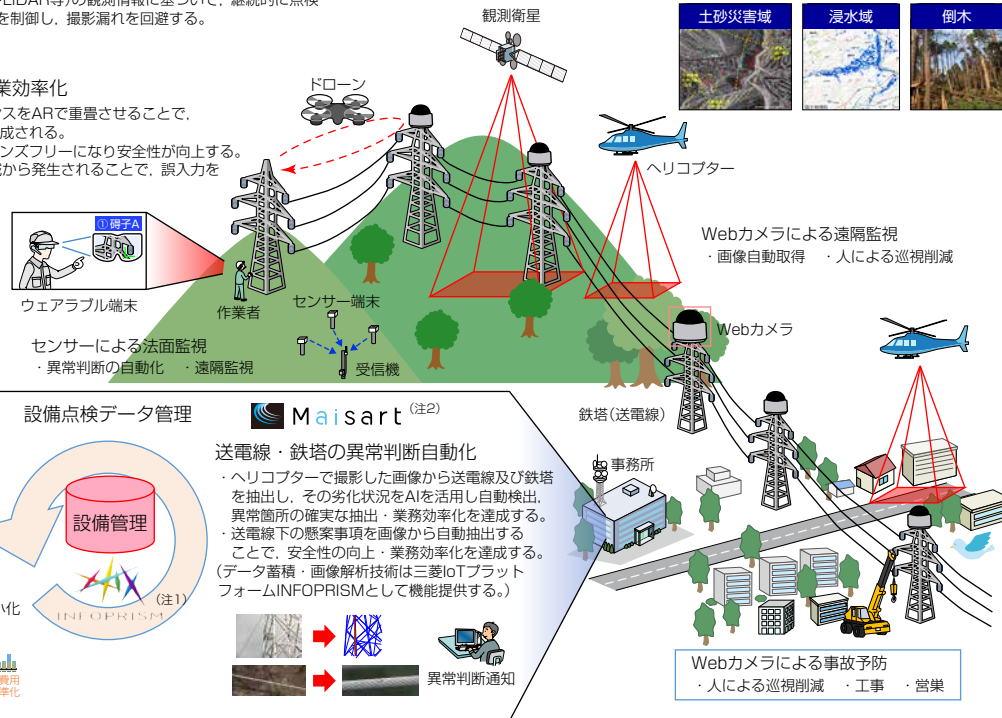
衛星画像を活用した災害対策・伐採業務支援

- 災害発生時の初動体制確立のための広域被災情報、送電設備の被害情報、孤立地域、電源車通行可否等を事前に把握する。
- 平時の情報活用として、送配電線への植生繁茂による伐採要否判断など定期巡視点検業務の効率化を実施する。



ARと音声認識を活用した現場作業効率化

- ウェアラブル端末に点検対象のガイダンスをARで重畳させることで、点検漏れの回避や、点検品質の向上が達成される。
- 点検時は音声で結果登録することで、ハンズフリーになり安全性が向上する。
- 音声合成技術で登録した点検内容が機械から発生されることで、誤入力を防ぎ、点検品質が向上する。



(注1) 社会・電力インフラ設備の運用・保全業務の効率向上に貢献するIoTとAI技術を採用したIoTプラットフォーム。
 (注2) 三菱電機の持つ様々なAI技術を統合したブランド。コンパクト、機器の知見を生かした高効率化などが特長である。
 LiDAR: Light Detection And Ranging, AR: Augmented Reality, IoT: Internet of Things

図1. 電力送配電分野でのスマート保安全体像

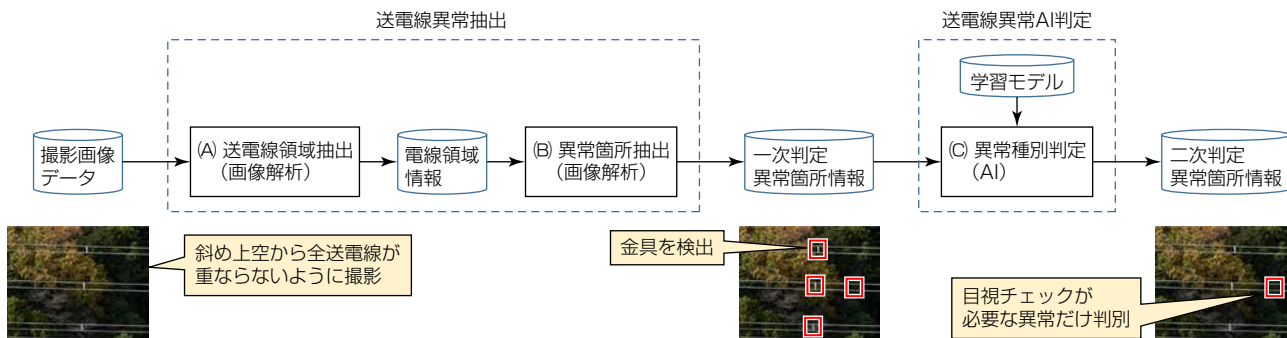


図2. 送電線異常抽出処理の流れ

箇所を検出できる。異常箇所が鮮明になるような画像補正処理を施して検出精度を向上させた。異常箇所が非常に小さい場合や、画像にノイズが多い場合に、異常箇所の見落としや、誤検出が増加する問題があったが、検出を行う前に画像内に異常箇所があるかどうかを判定する処理を追加し、異常がなさそうな画像に対しては、検出を行わないようにすることで、ノイズ等の影響による誤検出を削減した。なお、一次判定では電線検出見逃しを可能な限り少なくすることで正常な電線や背景を異常として過検出することを許容し、(C)異常種別判定のAIを利用した二次判定を行うことで漏れなく精度の高い異常抽出を実現している。異常種別はあらかじめ定義された数値のラベルで表され、異常、金具、難着雪リング等の分類を行い、検出された異常箇所ごとに判定結果コードの数値を出力する(図3, 表1)。

次に、送電線異常検出の評価について述べる。一次判定では、抽出した454本の送電線から18,538か所の異常箇所を検出した。二次判定結果の内訳を表2に示す。AIによって正常箇所・異常箇所が振り分けられた結果、最終的に858か所の異常箇所を検出した。あらかじめ目視確認した正解値の送電線異常(損傷, 変形, 付着物)計668か所を、100%異常判定できている。残る190か所の過検出は、特殊形状の風音防止用の電線や異常ではない塗料の付着物等であった。これらの過検出箇所は、今後AI強化学習を行うことで更なる判定精度向上が期待できる(1)。



図3. 異常判別種別画像例

表1. 異常種別コード

種別コード	異常種別名
-4	損傷・変形
-3	異物付着
-2	その他(重大)
-1	その他(軽微)
0	背景
1	金具
2	電線
3	影
4	難着雪リング

表2. 二次判定結果(内訳)

正解値	二次判定結果					正解率 (%)	
	正常	異常					
		損傷	変形	付着物	合計		
正常	17,680	118	71	1	190	98.9	
異常	損傷	0	423	0	0	423	100.0
	変形	0	0	225	0	225	100.0
	付着物	0	0	0	20	20	100.0
計	17,680	541	296	21	858		

単位:箇所

2.2 鉄塔劣化判定

今回の手法は、ヘリコプターで撮影をした画像を入力し、鉄塔自体の抽出と劣化判定を行う機能を持つシステム構成にしている(図4)。

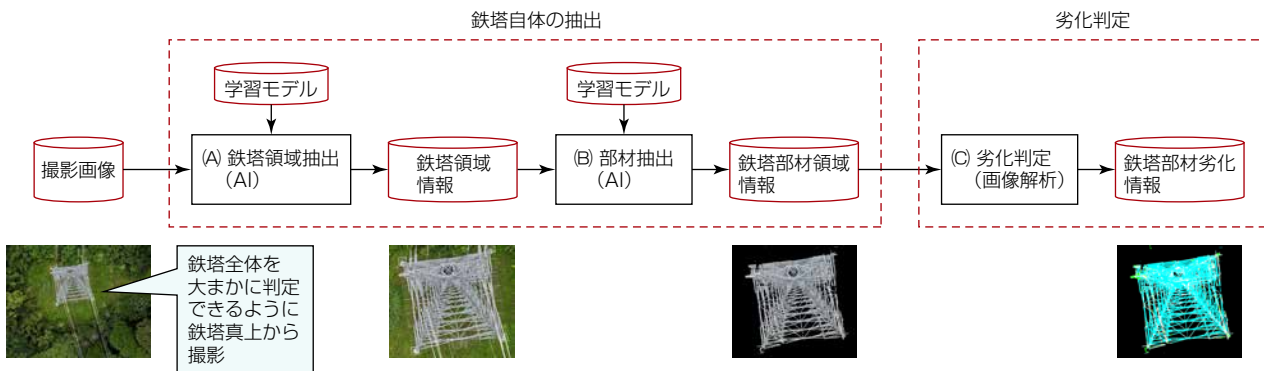


図4. 送電鉄塔劣化判定処理の流れ

鉄塔自体の抽出は、(A)物体検出AIを利用し、鉄塔の画像と鉄塔を囲むバウンディングボックス情報を学習させ、鉄塔領域を抽出する処理と、(B)セマンティックセグメンテーションAI^(注3)を利用し、鉄塔の画像とそのマスク画像を学習させ、入力鉄塔画像から部材のマスクを出力する部材抽出処理の二つの機能で構成している。(C)劣化判定は、塗装鉄塔を対象にした判定は現在検討中であるため、未塗装鉄塔を対象としている。未塗装鉄塔は、劣化の進行に一定の規律性があると考えて、AIではなくルールベースの劣化度推定方式を採用し、劣化進行の特徴を分析し、劣化度を5段階に分けた。図5の劣化サンプル画像が示すように、劣化進行によって、灰色から徐々に赤色に変化する規律性を使って、画像から鉄塔の劣化度を推定できる。静止画像から未塗装鉄塔の各ピクセルの色によって、対応するピクセルの劣化度が推定できる(図5)。実際の鉄塔真上画像による検証では、劣化レベルの分割基準で各劣化レベルの範囲が狭く、基準策定の基になる疑似撮影画像と鉄塔真上画像の撮影条件等の違いによって、有効な劣化レベル判定ができないことが分かった。そこで、色特徴情報を追加利用することで、RGB(Red, Green, Blue)情報だけを使ったマッピング方法から改善できることを確認した。

鉄塔領域抽出及び部材抽出の評価を表3、表4に示す。初期段階で目標にしていた精度は既にクリアしており、更なる精度改善に取り組んでいる状況である。また、抽出後の画像に対する劣化自動判定処理については、実運用へ向けた継続改善・調整を行っており、九州電力送配電㈱と共同で実データを用いた評価・試運用を順次行っていく計画である。

(注3) 画像のピクセル(画素)一つ一つに対してラベル付けしていく手法。

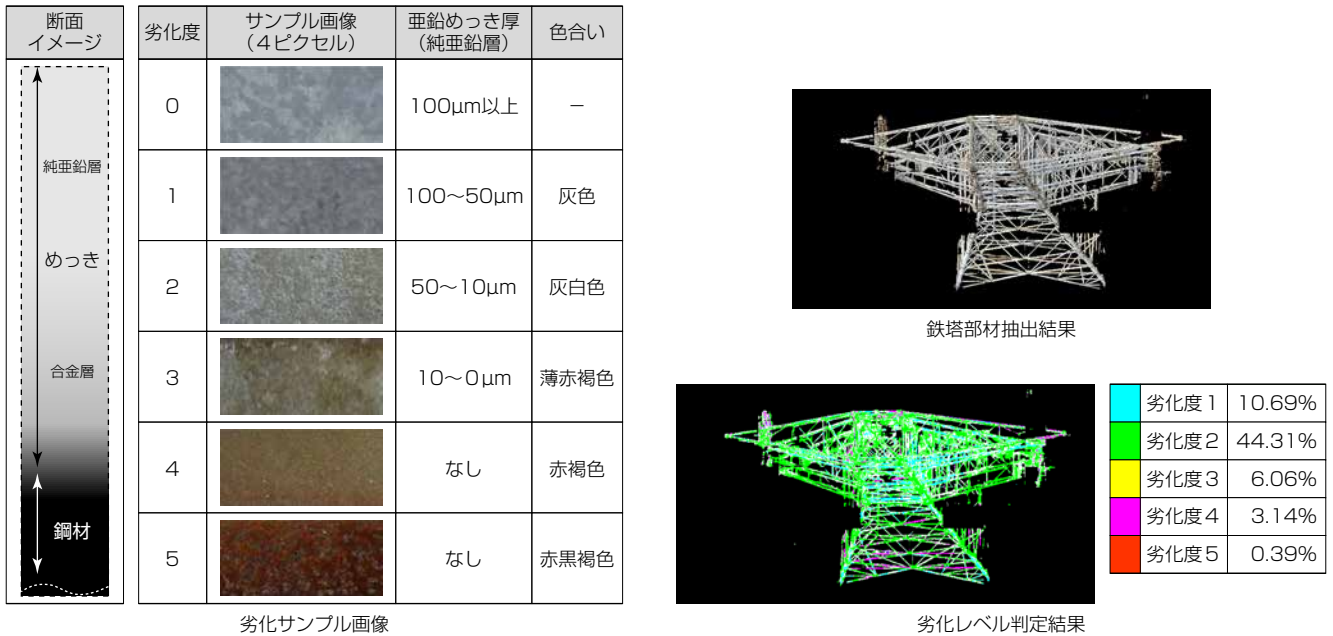


図5. 劣化レベル基準と判定結果

表3. 鉄塔領域抽出精度

評価区分	具体的な評価内容	検証データ数492基 (全体比)
成功	正しく鉄塔検出 (鉄塔検出率)	472基 (95.9%)
失敗	一部検出又は未検出	20基 (4.1%)

表4. 鉄塔部材抽出精度

評価区分	検証データ数492基 (全体比)
部材抽出率	442基 (89.8%)
誤検出率	320基 (65.0%)

3. 将来に向けた取組み

送電線・鉄塔点検の効率化に加えて、鉄塔敷地周辺及び送電線下の懸案有無判定の自動化について九州電力送配電㈱と実施中である。鉄塔と同様、送電線の真上からヘリコプターで撮影した画像を用いて、送電線下に存在する事故につながる懸案事項を、人手による目視確認を介さずに自動検出することを目的としている(図6)。具体的には物体検出AIを使

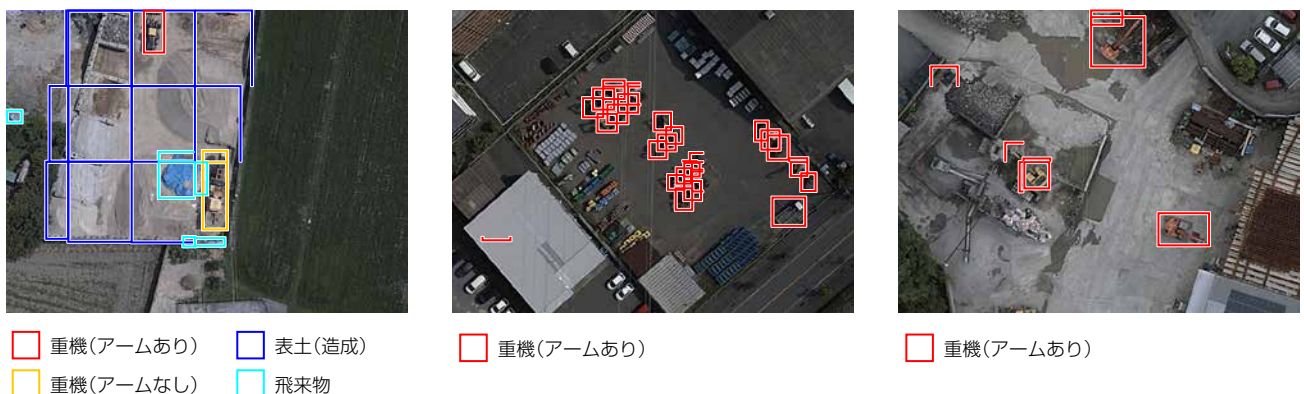


図6. 送電線下懸案事項の自動抽出

用し、検出対象になる重機(アームあり／なし)、構造物、表土(造成／崩壊)、索道施設、電線損傷、飛来物の計8種類の自動検出を目指して、検出エンジンを開発中である。送電網の保安・維持や、点検作業の省力化・効率化に対しては、ここまでに触れた取組みのほかにも、画像解析・AI活用技術の適用先ニーズとして、ドローン点検結果、地中設備、橋梁(きょうりょう)付随設備等が存在している。

4. む す び

ヘリコプターでの撮影画像から送電線と鉄塔設備を抽出し、異常検出や劣化判定を自動化する処理について述べた。送電線の異常箇所は100%抽出できており、過検出を一定抑制したため、現場業務への試運用段階に入っている。今後は、課題である過検出の抑止に向けて引き続き活動を実施する。また、更なる保全高度化に向けて、送電線下懸案事項の自動抽出の検討に着手している。国内送配電部門の業務効率化を達成し、電力安定供給の高度な実現に寄与するためにこの技術を継続して検討していく。

参 考 文 献

- (1) 岩本瑞樹, ほか: 高解像度静止画における画像解析を活用した電線抽出手法について, 電気学会 電線・ケーブル研究会, EWC-23-003 (2023)
- (2) 中川愛梨, ほか: 点検動画における電線領域抽出手法の検討, 電気学会 情報システム研究会, IS-20-033 (2020)

