

4 インフラメンテナンス技術

レーザー光を用いた錆除去技術

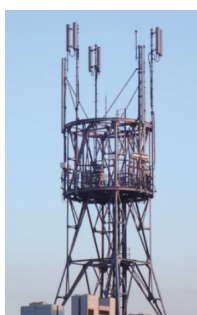
通信用鉄塔をはじめとした鋼構造物は、定期的なメンテナンスとして、錆を取り、塗装を行う必要があるが、電動工具や手工具では錆を完全に除去することが難しいという課題がある。その課題の解決を目指し、NTT デバイスイノベーションセンター（以下、DIC）では、レーザー光を用いた錆除去技術（レーザー除錆技術）の開発を行っている。

除錆用レーザーへの期待

人々の毎日の暮らしに欠かせない情報通信サービスは通信インフラ設備によって支えられている。その通信インフラ設備の一つとして通信用鉄塔があり、NTTグループも国内に数多くの通信用鉄塔を保有している（図1）。通信用鉄塔は鋼材でできているが、鋼材は大気環境下で腐食するため、その表面に亜鉛めっきや塗装を施すことにより、腐食が起きにくくなる、いわゆる防錆処理が施されている。しかしながら、時間が経過するにつれ、亜鉛めっきの減耗や塗料の劣化が生じ、鋼材が腐食し、錆が生じる。そのため、通信用鉄塔をはじめとした鋼構造物は、定



標識鉄塔



グレー鉄塔

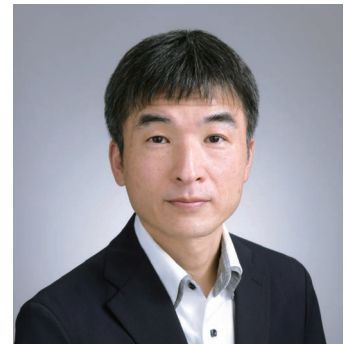


携帯基地局

図1 通信用鉄塔

期的なメンテナンスとして、錆をとり、塗装を行う必要がある。平面の広いところはディスクサンダーのような電動工具を用いて錆を削り取る。一方、狭く凸凹したところは電動工具のディスクが入らない場合があり、その場合はブラシのような手工具を用いて錆を取る。また、錆だけでなく、塩分が残っていると、腐食を誘発することが知られている。しかしながら、電動工具や手工具で錆や塩分を完全に除去することは困難であり、そのような状態で塗装すると、塗装の本来の寿命を発揮させることができず、メンテナンス周期が短くなるという課題がある。また、手工具は錆を除去しにくく、錆取りの作業効率が落ちるという課題もある。そのような課題を解決する技術

として、レーザー光を用いて錆を除去する技術（レーザー除錆技術）に期待がかかっている。レーザー光を用いることにより、錆や塩分を完全に除去することが期待できる。また、電動工具や手工具と異



NTT デバイスイノベーションセンター
ライフアシストプロジェクト
主任研究員 坂本 尊氏

なり、作業中に振動は発生せず、錆の表面に工具が触れることなく錆を除去できるため、反動が生じず、作業者の負担を小さくできると考えられる。レーザー光を錆に照射することさえできれば錆を取る事が可能となるため、従来の電動工具が適用できなかった狭く凸凹したところの除錆も可能になることが期待される。

除錆用レーザーを鉄塔で使用する
ことへの課題

現在、錆取りを目的としたレーザー装置（レーザークリーナー）が既に多くのメーカーから市販されている。レーザークリーナーは、一般にレーザー光源本体、光ファイバ、レーザー光射出ヘッドから構成される（図2）。レーザー光射出ヘッドには、レーザー光

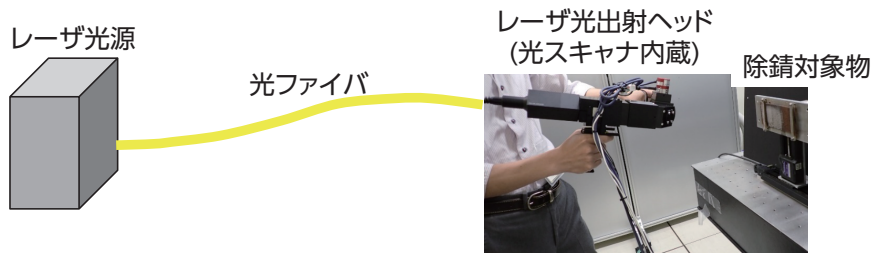


図2 レーザクリーナーの構成

のスポットを一次元または二次元的に動かす光スキャナと呼ばれる部品が組み込まれている。レーザークリーナーに使われる光スキャナの多くは、ガルバノスキャナと呼ばれるタイプである。ガルバノミラーと呼ばれるミラーが取り付けられたモーターを回転させることにより、ミラーの角度が変化する。レーザー光がミラーに入射する角度が変化する結果、ミラーからの反射光が進行する方向が変わり、レーザー光のスポットが動く（図3）。反射光が進行する方向の角度は、偏向角と呼ばれている。このようにモーターを含む機構がレーザー光出射ヘッド内に組み込まれているため、レーザー光出射ヘッドの重量が数kgとなる。作業者はヘッドを両手で支えて作業するが、鉄塔といった高所での作業では、安全性

及び疲労度の観点から、小型軽量のヘッドが望ましいと考えられる。

回折素子を用いた小型軽量レーザー光出射ヘッド

DICでは、レーザー光出射ヘッドの小型軽量化に向けて、光スキャナの代わりに回折素子を用いることを検討している。回折素子とは、基板表面に微細な凹凸構造を予め形成した光デバイスであり、その表面に入射されたビーム光は、干渉現象により、凹凸構造に応じたレーザービーム形状に変換される（図4）。回折素子により、細長い直線状のビーム生成し、作業者がその直線状のビームに垂直な方向にレーザー光出射ヘッドを手でスキャンすることにより、錆びた鋼材に面状に光を照射することが可能となる（図5左）。回折素子の重量はわずか数gである

ため、レーザー光出射ヘッドの軽量化が期待できる。DICでは、回折素子を用いることにより重量500gのレーザー光出射ヘッドを試作し、片手での作業が可能な軽量小型のレーザー光出射ヘッド実現の可能性を示した（図5右）。

塗装付着力の評価

前述した通り、レーザー光で錆を取った鋼の表面をそのまま放置すると、再び錆が発生してしまうため、塗装を施すことが一般的に行われている。塗料の付着力は鋼の表面状態に依存する。レーザー光のパワー密度などのレーザー照射条件は、鋼の表面状態に影響を与える。すなわち、塗料の付着力は、レーザー光の照射条件で変化する。そのため、レーザー光で錆を除去した後の塗装が長期間付着力を維持する、レーザー照射条件を明らかにすることが重要となる。

レーザー光で錆を取るには、レーザー光のパワー密度（単位面積当たりのパワー）がある程度大きいことが好ましい。そのため、レーザー光を小さい面積に集める（集光する）。しかしながら、回折素子で直線ビームを

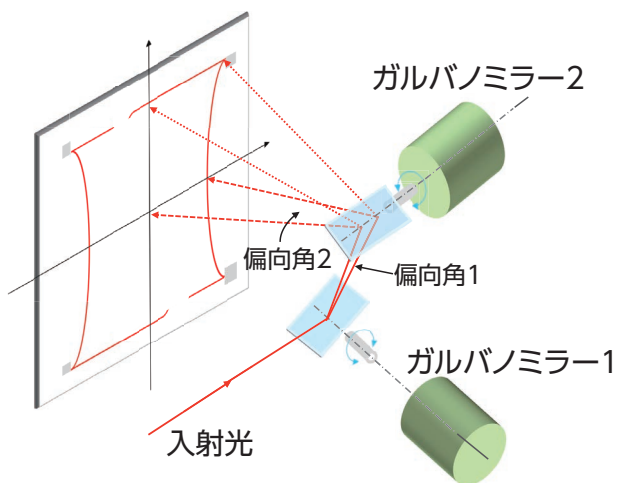


図3 光スキャナの例

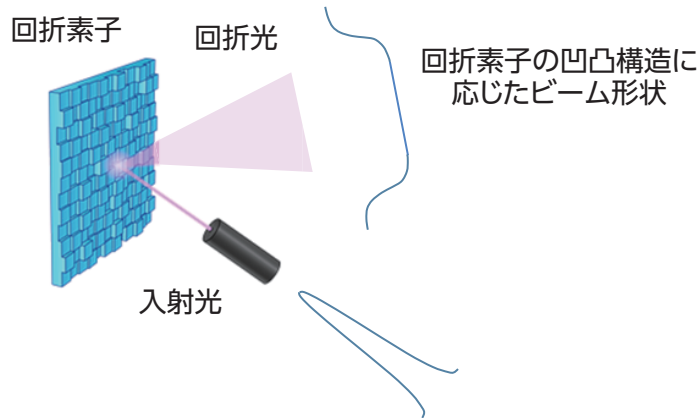
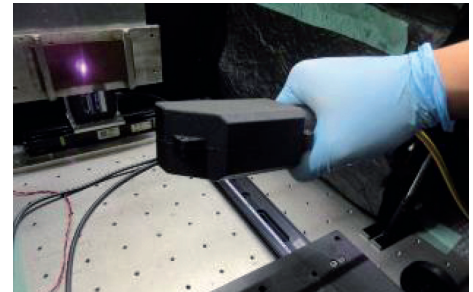
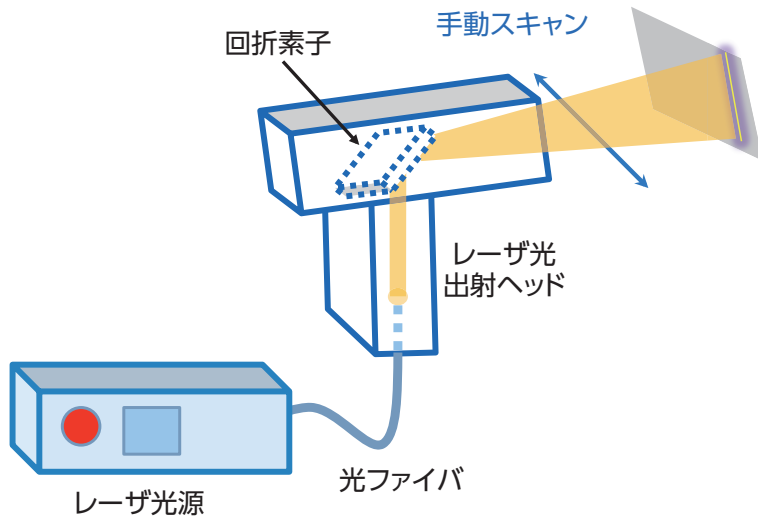


図4 回折素子によるレーザービーム形状の変換



試作機

図5 回折素子内蔵レーザー光出射ヘッドを用いた除錆レーザーシステム

生成すると、どうしてもビームの面積が大きくなるため、その分レーザー光のパワー密度が低下する。そこで私たちは、市販のレーザークリーナー装置を用いて、レーザー光のパワー（パワー密度）を小さくして除錆を行う評価も行っている。市販のレーザークリーナー装置のパワー（パワー密度）を、“回折素子によって長さ 3.3 mm の直線ビームを 150W 出力のレーザーを用いて生成した時のパワー密度”と等しくなるよう設定したときの除錆結果を一例として示す（図 6）。

赤錆が除去されていることが目視で確認できる。この後、レーザー光で除錆した面に塗装を施し、塩水噴霧→乾燥→湿潤を繰り返す複合サイクル試験と呼ばれる、腐食を促進する試験を 2000 時間行った後、塗装の付着力試験を行ったところ、十分な付着力を示すことが確認できた。すなわち、回折素子を用いて直線ビームを形成して除錆を行うことが可能であることを確認した。

安全なレーザー除錆作業に向けて

レーザー光を用いて錆取りを行う際、誤って錆以外の物体や人に照射することは避けなければならない。そこで DIC では、除錆対象物の位置を常時測定し、レーザー光出射ヘッドから除錆対象物までの距離が、作業者が予め設定した範囲内であれば除錆用レーザー光の照射を可能とし、そうでなければレーザー照射を即時に停止（禁止）する、除錆用レーザーの安全機構の開発に取り組

んでいる（図 7）。この距離測定には LiDAR（Light Detection And Ranging）と呼ばれる光を用いた技術を用いている。図 8 に、光スキャナを内蔵した光照射ヘッドに安全機構を組み込んだ除錆用レーザーシステムの構成を示す。図中の光合分波器とは、異なる波長の光を束ねたり分離したりする部品である。除錆用レーザー光と LiDAR 用レーザー光として異なる波長の光を用いることにより、光合分波器で 2 つの光を束ねたり分離したりできる。図 8 の構成を採用することにより、除錆対象物における除錆用レーザー光の照射位置と LiDAR 用レーザー光の照射位置を一致させることができ、レーザー光出射ヘッドからの距離を正確に測定することができる。LiDAR 装置から、除錆レーザー ON/OFF 制御部に常に情報が送られ、既定の範囲内に除錆対象物が存在しなければ、除錆用レーザーの照射を停止する。LiDAR 装置にて距離を測定（算出）するのに要する時間を極力短くすることにより、不要なレーザー光が照射している時間を短くでき、安全性を向上さ

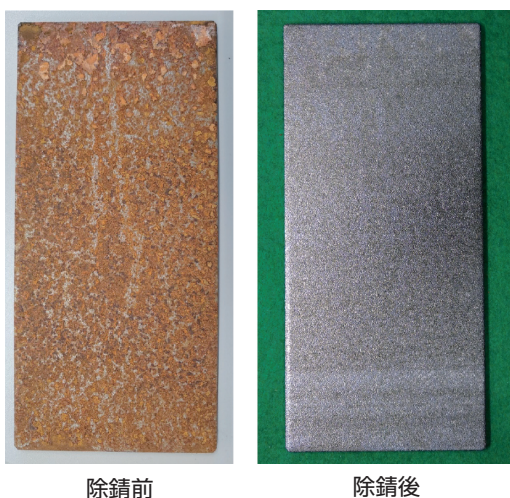


図6 除錆結果の例

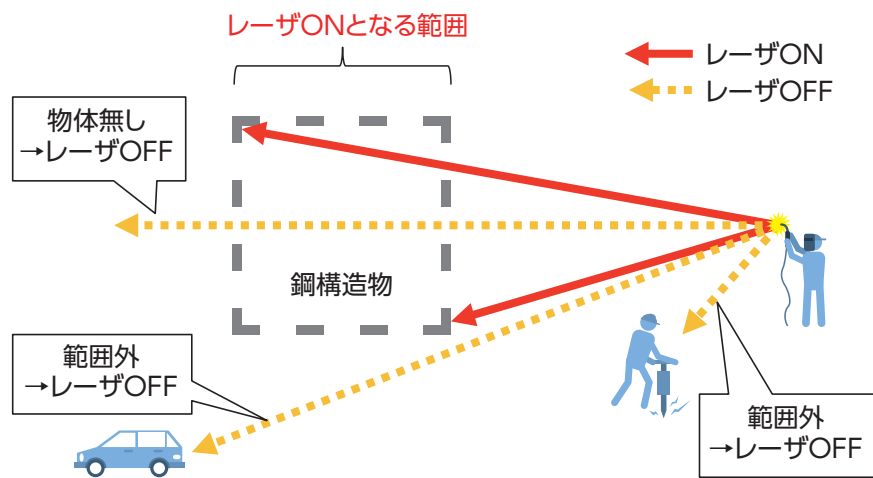


図7 屋外でのレーザーを用いた除錆作業の安全性

せることができる。

しかしながら、錆の表面で反射してLiDAR装置に戻ってくる光は非常に弱いため、距離の測定には高度な信号処理が必要となり、その結果演算量が増加する。そこでDICでは、LiDAR装置における全ての信号処理を、超並列演算が可能となるGPU (Graphics Processing Unit) にて行い、その結果、LiDAR装置での距離の測定に要する時間として

40ミリ秒 (4/100秒) が実現できることを確認した。今後、更なる高速化を行い、数ミリ秒以内の達成を実現予定である。

まとめ

DICで開発している除錆レーザー技術について紹介した。回折素子を用いることで500gのレーザー光出射ヘッドの実現可能性を示した。また、

回折素子の使用を想定した光照射条件下において、十分な塗装付着力を示すことを確認した。万が一の事故を防ぐため、LiDAR技術を応用し、除錆対象物が存在しなければ、光が照射されないようにする技術について紹介した。今後引き続き開発を進め、インフラメンテナンス分野の発展に貢献していくことを目指す。

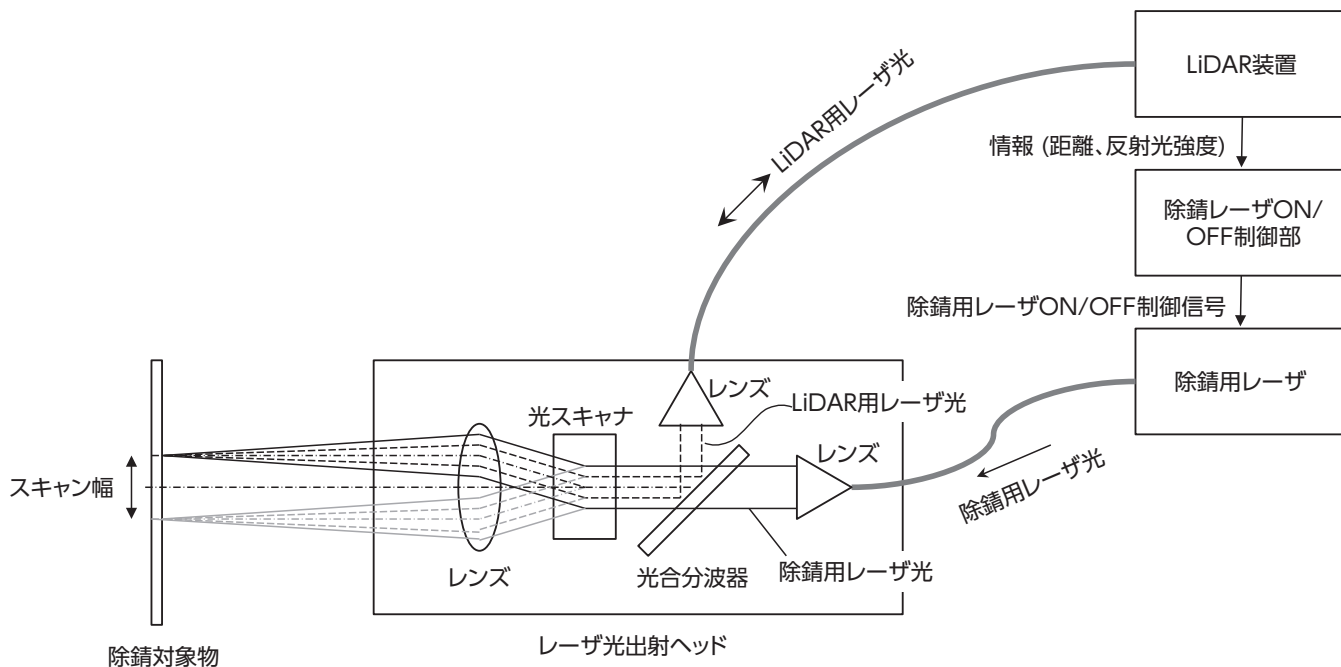


図8 安全機構を備えた除錆レーザーシステム