

4 誘雷・雷充電

ドローンを利用して街の雷被害を防ぐ
落雷誘発・捕捉の取り組み

NTT 宇宙環境エネルギー研究所では、人類が安心・安全に暮らせるように、極端な自然現象に対してプロアクティブに
適応できる技術の研究開発に取り組んでいる。これまでに、落雷から通信装置を守る技術を開発してきた。本稿では、こ
の技術を応用しつつ、従来の対策を根本から変えるドローンを利用した落雷誘発・捕捉の取り組みを紹介する。

はじめに

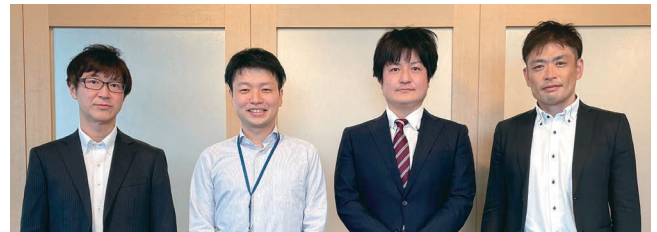
落雷は人類社会に大きな被害をもたらす自然災害の一つである。落雷のメカニズムや特性、また落雷への対策については、これまで数百年に渡って研究され、重要インフラには様々な対策が施されてきている。しかしながら、現在においても落雷被害はなくなっておらず、その被害額は国内だけでも年間 1000 億円以上と推定されている^{*1}。また、近年著しい電子機器の低消費電力化・低駆動電圧化の副作用として、電子機器の過電圧耐力は低下してきている。加えて、到来するスマート社会においては、電子機器がありとあらゆる場所で使用されるため、落雷対策はより重要な課題である。

従来の落雷対策として最も一般的なものは避雷針である。建物等に設置して落雷を引き寄せ、大地に逃がす働きをする。しかし、避雷針は建物等が存在しない場所には設置できない。また、建物等に避雷針を設置した場合でも、避雷針への落雷の直撃は建物内に過電圧を発生させ、建物内の電子機器を損傷させることが

ある。さらに、建物周辺の電線等に落雷し、雷電流が電線を伝って建物内に侵入してくるケースもある。そこで、避雷針に加えて、トランス等によるケーブル類の絶縁、避雷器等によるバイパス、接地の共通化による等電位化などを駆使して、電子機器やそれらを収容する建物自体の過電圧耐性を向上させる対策も取られる^{*2}^{*3}。しかしながら、すべての建物や電子機器に漏れなく対策を施すためには莫大なコストを要する。また、スマート社会の実現に向け、電子機器を使用した様々なシステムが作られ、短いサイクルで変化していくため、落雷対策した状態を維持し続けることは困難である。

落雷誘発・捕捉の取り組み

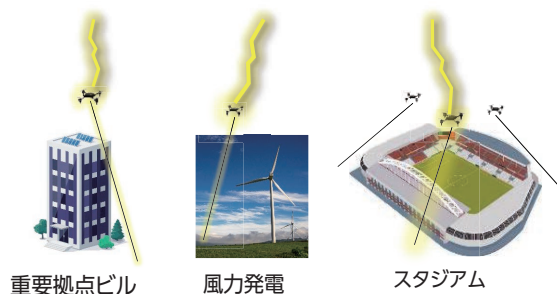
そこで NTT 宇宙環境エネルギー研究所では、これまでに培ってきた通信設備を雷から守る技術を大きく発展させ、ドローンを利用して落雷



日本電信電話株式会社
宇宙環境エネルギー研究所
プロアクティブ環境適応技術グループ
(左から) 主幹研究員 池田 高志氏、研究主任 長尾 篤氏
研究主任 柘田 俊久氏、主任研究員 丸山 雅人氏

を誘発・捕捉し、人や設備のない安全な場所に意図的に落雷させる技術を研究している。

図 1 に利用シーンを示す。図 1 の A、B は、基本的な利用シーンである。雷雲襲来を事前に予測し、重要インフラや街など保護したい対象の上空にドローンを飛行させる。すなわち、建物等を必要としない「空飛ぶ避雷針」を構成するのである。このようにして、重要インフラやその周辺、および屋外イベントなど避雷針の設置が困難な場所への落雷の直撃を防止する。雷雲の発生位置は日時によって異なるため、その位置を事前に予測し、ドローンを配置・飛行させることで、少ないドローン台数で広いエリアを落雷から守ることが可能となる。



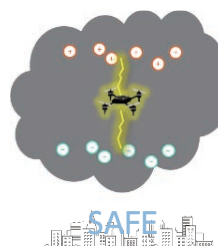
A.特定の建物等を守る



B.ドローン群で広いエリアを守る



C.安全な場所に落雷させ尽くす雷を防ぐ



D.雲内で放電させ尽くし、街への落雷を防ぐ

図1 落雷誘発・捕捉の利用イメージ

一方、図1のC、Dはより高度な、雷が落ちること自体を抑止する利用シーンである。雷雲が保護したい対象の上空に至る前に、海などの安全な場所に意図的に落雷させてしまうことで、雷雲の電気エネルギーを中和し、保護対象周辺への落雷を抑止する(図1のC)。将来的には、雷雲の内部で雲放電を発生させてしまうことで、地上への落雷自体をなくしてしまう(図1のD)。

さらに、ドローンで捕捉した雷エネルギーを利用することも考えており、雷を運動エネルギーや磁気エネルギーなどの別のエネルギーに変換して蓄積する雷充電技術の研究も行っている。これは、NTTの新たな環境エネルギービジョン「NTT Green Innovation toward 2040」の具体的な取り組みの一つとして位置付けられている。

耐雷ドローン

ドローンを利用して落雷を誘発・捕捉するためには、ドローン自体が落雷に耐えられることが必要不可欠であるが、現状、そのようなドローンは存在しない。そこでNTT宇宙環境エネルギー研究所では、世界初の耐雷ドローンの研究開発に取り組んでいる。

開発中の耐雷ドローンを図2に示す。最大の特徴は、金属製のケージ、いわゆるファラデーケージを具



図2 耐雷ドローン

備する点である。本機に落雷が直撃した場合、雷電流はケージに沿って迂回して流れることで、ドローン本体に雷電流が流れることを防止する。加えて、雷電流に伴って発生する強い磁界もドローンを誤作動させる原因となりうるが、このような構造で雷電流を分散させることで、発生する磁界を相互に打ち消しあうことにより、ケージ内部の磁界強度を低減させる。本機に対し、人工雷を印加しての耐雷試験を実施した。試験の一例を図3に示す。IEC規格に準拠した直撃雷サージ試験

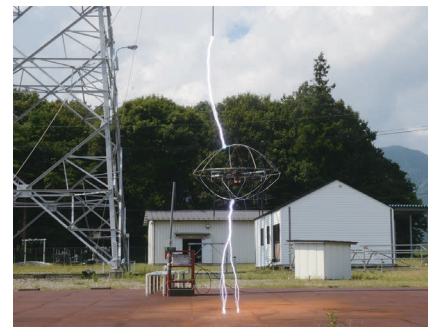


図3 耐雷試験の例

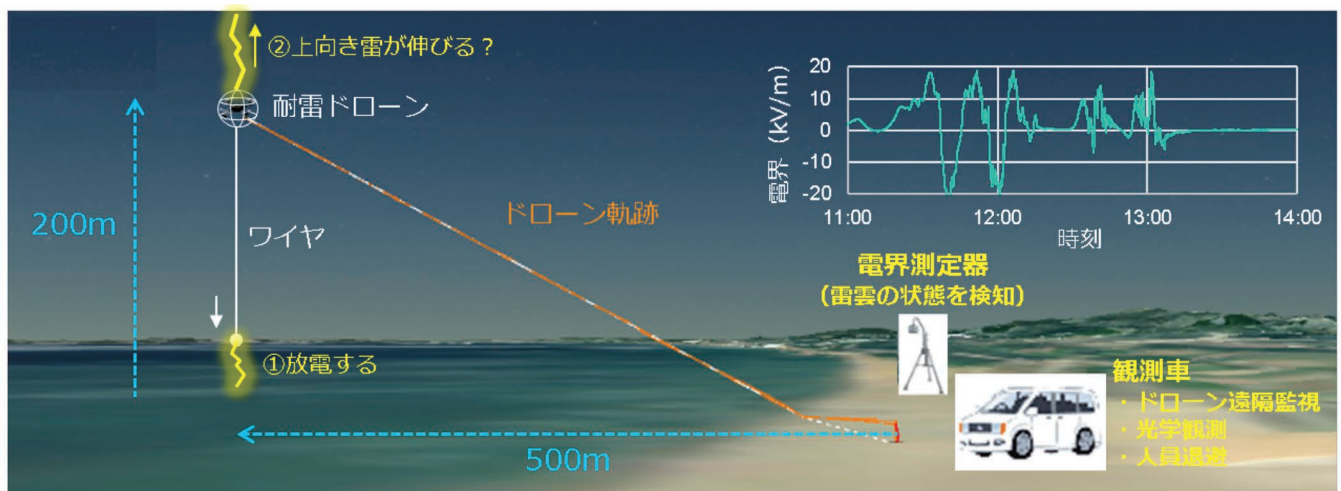


図4 実験の概要

(10/350 us インパルス波形) では、120 kA (平均的な自然雷の約5倍) の落雷耐性 (故障・誤作動・損傷しない) を有することが確認できた。

一方、耐雷ドローンが飛行する環境は雷雲下であるため、雨雪電や暴風にも耐えなければならない。このことから、ケージには雷に対する防護性能とともに、強風の中を安定して長時間飛行できる軽量性や剛性が要求される。これら相反する性能を追求し、さまざまなシミュレーション、実験を重ね、より高い性能を有するケージを研究中である。

落雷誘発・捕捉実験

開発した耐雷ドローンの自然雷に対する耐性を確認するため、また、図1のC、Dのような利用シーンを確かめるため、冬季に雷雲が頻発する石川県にて、実際の雷雲下でドローンを飛行させ、意図的に落雷を発生させるフィールド実験を2022年から岐阜大学と共同で実施している。残念ながら未だ落雷誘発には至っていないが、その一歩手前と推

定される事象を観測できた。

実験の概要を図4に示す。雷雲が襲来したタイミングで海岸からドローンを沖合に飛行させる。海岸では雷雲による静電界 (雷雲電界) を測定・監視し、電界強度が高まった雲中の電荷が蓄積されたタイミングでドローンから導電性のワイヤを投下する。ワイヤが伸展するにつれてワイヤ下端の電界が上昇し、まずワイヤと大地間で放電が発生すると予想される。この放電によりワイヤは電氣的に接地されることとなる。すなわち高い避雷針が瞬時に形成される形となり、ドローン上部の電界が急激に高まる。これにより、ドローン上部から雲に向かう放電 (上向き雷) が発生すると予想される^{*4}^{*5}。

なお、落雷を意図的に誘発する技術としては、ロケットで地上からワイヤを急速に引き上げるロケット誘雷技術^{*6}^{*7} や、大出力レーザーで空中にプラズマ電路を形成するレーザー誘雷技術^{*8}^{*9} が存在する。しかしながら前者は火薬の取り扱うことから十分な安全対策が不可欠である他、火薬の使用・運搬・保管に対す

る厳しい法規制もクリアしなければならない。また後者は長いプラズマ電路を形成するには大電力が必要であり、設備が大型化する。したがって、いずれの方式も実施場所は固定されてしまう。一方、ドローン誘雷を実証・実現できれば、雷雲の動きに合わせて飛行し、最適な場所で誘雷するといった機動的な運用が可能となる。

図5は、雷雲下での実際の試験模様である。開発した耐雷ドローンが、風速20 m/s超、雨雪電の中で安定飛行できることが確認できた。

また図6は、ドローンからワイヤを投下した際にワイヤに流れる電流を、ドローンに搭載したロガーで測定した結果の一例である。



図5 試験模様

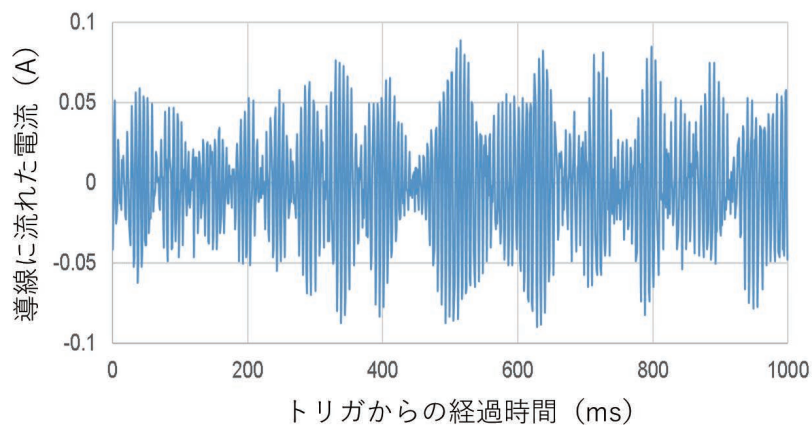
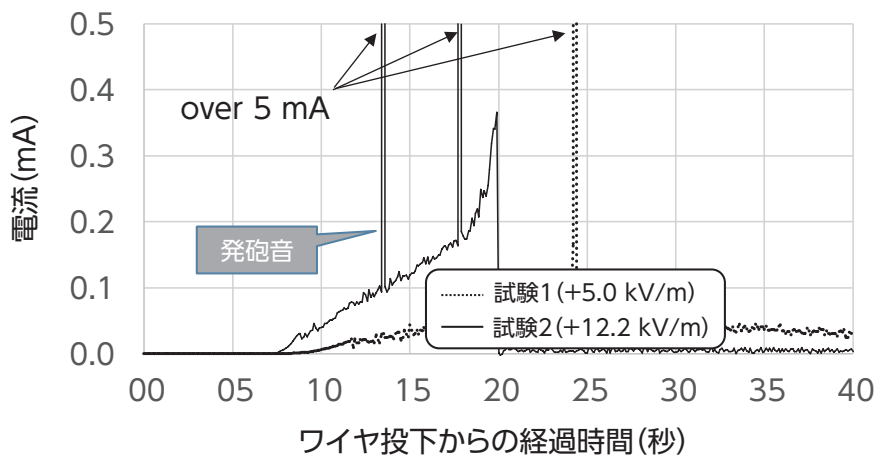


図6 導線に流れた電流測定結果

Aの結果1については、点線(試験1)、実線(試験2)は雷雲電界がそれぞれ+5 kV/m、+12.2 kV/mのタイミングでワイヤ投下した際の電流値を示す。実線(試験2)に注目すると、ワイヤ投下から8秒前後で電流値が上昇しているが、これはワイヤ伸展に伴いワイヤ先端で発生するコロナ放電に伴う電流(コロナ電流)と考えられる。一方、13秒後、18秒後に瞬間的な大電流が流れている。このうち13秒後の大電流のタイミングで、海岸で撮影していたビデオカメラの動画にパンという発砲音が記録されていた。これらより、本大電流はワイヤ投下に

伴ってワイヤ下端と大地との間の放電が発生したことを示すものと推定される。

また、Bの結果2については、雷雲電界が-13.0 kV/mのタイミングでワイヤ投下した際の電流値を示す。想定されたパルス波形とは大きく異なる振動波形であり、今後の実験で分析が必要であるが、この時のドローンを確認すると、投下したワイヤとファラデーケージを接続するクリップ付近に放電痕が確認できた(図7)。一般的に100mA程度の電流ではこのような放電痕は発生しないことから、この時に最低でも数A程度の電流が流れたと考えられる。

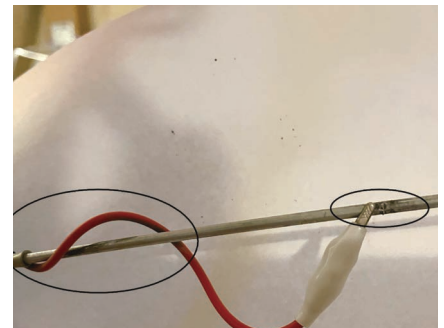


図7 放電痕

おわりに

極端な自然現象に対してプロアクティブに適応できる技術として、ドローンを利用した落雷誘発・捕捉の取り組み、および実験模様を紹介した。今後は発雷の高精度予測技術や雷充電技術などについても研究開発を進め、人類の夢である落雷制御の実現をめざしていく。

※1 財団法人 全国自治協会, 落雷被害の傾向と対策, 2010.

※2 “EMC・ノイズ対策技術,” 岡谷電機産業(株), [オンライン]. Available: https://www.dempa.co.jp/productnews/trend/h031113_3/h1113_3.html.

※3 東日本電信電話株式会社, “通信サービスの使命 第6回 雷と闘う,” [オンライン]. Available: <https://www.ntt-east.co.jp/universal/web6-1.html>.

※4 D. Wang, W. Lu, Y. Zhang, Q. Meng, “Two new methods of artificially triggering lightning discharges,” Proceedings of 30th International Conference on Lightning Protection, 1204,1-4, 2010.

※5 手嶋健, 波多野陽, W. Ting, D. Wang, 高木伸之, “ドローンを用いた人工誘雷技術開発の基礎的研究,” 電気・電子・情報関連学会東海支部大会, E4-3, 2018.

※6 小奈勝也, “雷対策検討のシナリオ検討,” 動力炉・核燃料開発事業団(PNC), 1993.

※7 堀・憲爾, “IV. 雷は制御できるか?-ロケット誘雷など,” 電気学会雑誌, 110巻1号, 1990.

※8 Thomas Produit et al., “The laser lightning rod project,” The European Physical Journal Applied Physics 93, 10504, 2020.

※9 山中竜彦, “レーザー誘雷の原理と課題,” The review of laser engineering, 24巻5号, 1996.