

下水処理場の落雷対策に関する一考察

(株)東京設計事務所 ○鈴木敦也、後藤禎洋、田崎和範

近年、地球温暖化に伴う気候変動の影響により、全国的に局地的豪雨が増加傾向にある。これに伴って落雷の発生も増加しており、下水処理場においても電気設備への被害が懸念されている。現在、下水処理場では落雷被害の防止を目的とした各種対策が講じられているが、特に落雷の頻度が高い地域では、落雷による設備への重大被害に伴う多額の修繕費用の発生や、自動制御の停止による手動運転対応の長期化など、運転管理に大きな支障をきたす事例が多数報告されている。本稿では、下水処理場において一般的に採用されている落雷対策を整理し、運用上の問題点とそれに対する改善案について考察を行う。

Key Words : 落雷、落雷対策、雷サージ、LA (*Lightning Arrester*、高圧用避雷器)、SPD (*Surge Protective Device*、サージ保護デバイス)、等電位ボンディング

1. はじめに

近年、地球温暖化に伴い地球規模の気候変動が発生しており、日本においてもその影響により、狭い範囲かつ突発的に数十 mm の雨量をもたらす局地的豪雨が増加傾向にあり、豪雨に伴った落雷も増加している。また、日本海沿岸などでは、冬季に発生する特異な雷現象である冬季雷が観測され、他地域に比べて落雷発生回数の多い地域が分布している。

このような気象特性により、落雷リスクは全国的に増大しつつあり、社会インフラ施設に与える影響を無視できない状況となっている。下水処理場においても例外ではなく、近年では落雷による雷サージの影響と推測される機器の故障・停止が多数報告されている。

一般に下水処理場では、人体保護、設備保護を目的とした雷保護システムが導入されているが、これまでは主に人体保護の観点に比重が置かれており、電気設備に対する保護については、特に多雷地域における運用を行うには不十分である場合がある。このため、電気設備の機能維持を目的とした追加の落雷対策が求められている。

下水処理場は、都市機能を支える重要な社会インフラであり、その運転停止や設備故障は、地域社会に深刻な影響を及ぼす可能性がある。したがって、落雷に対する適切な保護システムの有効性の検討と整備は重要な課題である。

本稿では、下水処理場における落雷被害の現状を整理するとともに、現在一般的に用いられている落雷対策と保護システムを整理し、その運用上の問題点と今後の展望について考察する。

2. 近年の気象状況

過去の降水量の統計は、気象庁により公表されており、特に「非常に激しい雨」に分類される 1 時間あたり 50 mm 以上の降水について、全国アメダスの観測地点での年間の発生回数が整理されている。公表データは 1976 年から 2024 年までの約 50 年間を対象としており、豪雨の発生回数は全体として増加傾向にある¹⁾。雷については、(株)フランクリン・ジャパンが日本全域の落雷数を公開している²⁾。このデータに基づいて直近 10 年間の落雷年間発生回数をグラフ化すると

図 1 に示すとおり増加傾向にあり、今後も落雷が増加することが懸念される。

一方で、豪雨に伴う落雷の多くは夏季に集中して発生するのに対し、主に東北地方の日本海側では、冬季に発生する冬季雷がある。冬季雷は不活性な雷雲に起因する場合もあり、必ずしも強い降雨を伴うとは限らない^{2) 3)}。そのため、冬季雷の発生地

域においては、豪雨に伴う落雷の増加に加え、冬季特有の雷の影響も受けることとなり、雷害のリスクが相対的に高い地域と位置づけられる。加えて、冬季雷は夏季雷に比べて放電エネルギーが大きい傾向にあるため、被害規模も拡大しやすいことが報告されている⁴⁾⁵⁾。

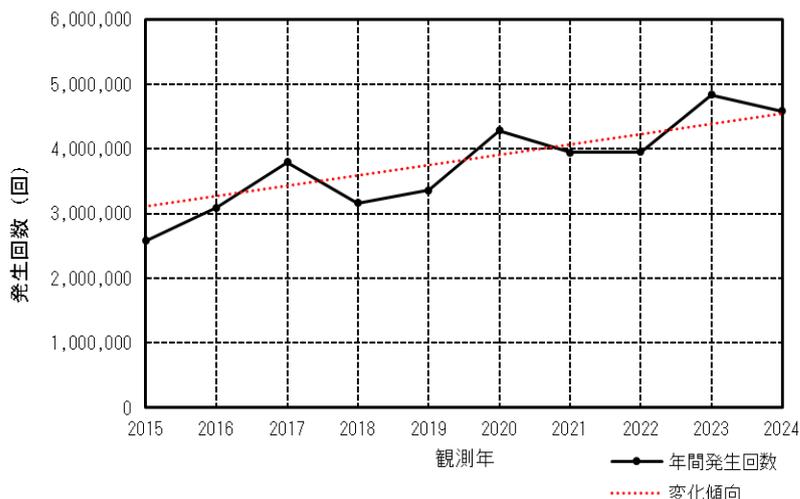


図 1 全国の落雷年間発生回数

3. 下水処理場における事故事例

落雷にはいくつかの形態が存在する。代表的なものとして、雷雲と建築物・電線・設備等との間で直接的に雷撃が生じる直撃雷、近隣への落雷に伴い強い電磁界が発生しこれにより金属製ケーブルや機器に異常な電流・電圧が誘起される誘導雷などが挙げられる。これらの落雷現象によって発生する雷サージが電源、信号ケーブルに侵入し、電気設備機器の故障や停止などの事故を引き起こすことがある。

雷サージの侵入経路としては、直撃雷による直接的な侵入、誘導雷による金属部を介した侵入、さらに落雷地点や避雷針接地極などと電気設備用の接地極との間に生じる電位差に起因する侵入が知られている⁶⁾。

下水処理場における事故事例とその事故原因と考えられる雷サージの侵入経路についての考察を表 1 に示す。

表 1 に示す 3 事例は、落雷によるサージ侵入経路が多岐に渡り、被害箇所および内容についても様々であることから、雷保護システムを複合的に適用する必要があることを示している。

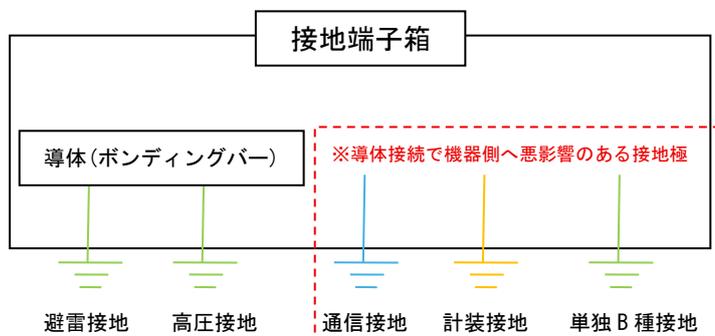
表－ 1 下水処理場の落雷事故事例および発生原因の考察

		事例 1	事例 2	事例 3
落雷 頻度	落雷対策設計ガイド ⁶⁾	低危険度地域※	低危険度地域※	高危険度地域※
	フランクリン・ジャパン ²⁾	少ない	近年やや多い	常に多い
事故内容		変圧器のケーブル焼損等の故障	動力制御盤の焼損	濃度計の基板破損
サージ侵入経路の考察		変圧器の一次側のケーブルに焼けがあるため、直撃雷もしくは誘導雷による引込部への雷サージと考えられる。	場内に直撃雷の被害が確認できないことから、屋外設備への誘導雷による雷サージと考えられる。	冬季雷が発生。場内道路に落雷痕があったことから、接地極の電位差による雷サージと考えられる。

※高危険度地域：3.5 回/km²/年 以上かつ冬季雷地域の沿岸、低危険度地域：2.0 回/km²/年 未満

4. 下水道における落雷対策の現況と問題点

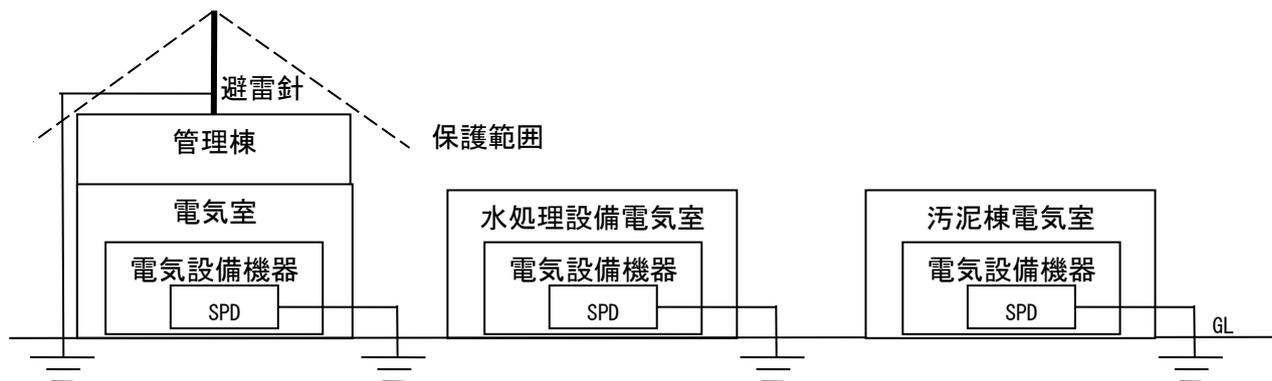
現在、下水処理場設計で用いられている「下水道施設計画・設計指針と解説」⁷⁾では、接地極を同一導体に接続し、接地極間電位差を低減する等電位ボンディングの実施や安全隔離距離の確保、必要に応じた避雷針の設置、落雷頻度の高い地域における LA（高压用避雷器）や SPD（サージ保護デバイス）の適用が示されている。特に、SPD の設置に関しては、計装設備について電源線・信号線に対する設置が示されている。ただし、等電位ボンディングの場合には、導体に接続する接地種別によって、機器側へのノイズなどの悪影響が発生する可能性についての記載がない（図－ 2）。また、契約電力が 50kW 以下の小さい施設では LA の設置が必須とならない場合があり、近年落雷が増加している



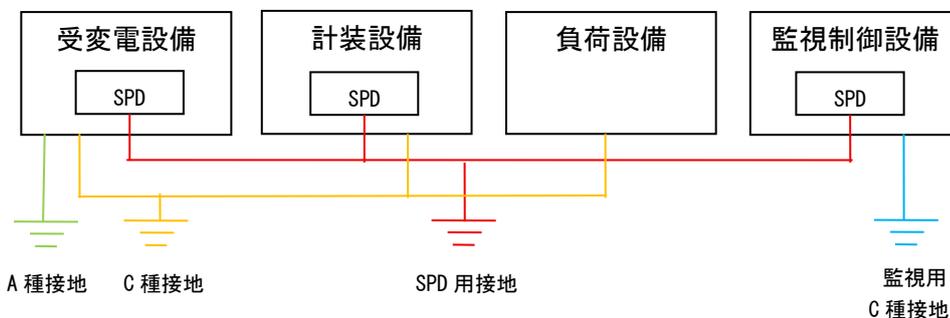
図－ 2 導体接続で悪影響のある接地種別

地域などは、引込部での保護が十分でない場合がある。SPD についても設置基準が明確でないことから、施設運用に必要な機器であっても SPD が取り付けられていない場合がある。

施設構成の観点では、建築基準法により 20m 以上の塔屋に避雷針が設置される。ただし、該当する塔屋を中心とした局所的な保護をしても、処理場全体をカバーできていない例が多い。また、下水処理場は広い敷地内に処理施設ごとの電気室が点在し、接地設備が電気室ごとの分散配置となることが多い（図－ 3）。各電気室に分散した SPD の接地およびその他の機器種別ごとの接地が独立して行われる傾向がある（図－ 4）。その結果、独立接地が併存する構成では、落雷時に接地極間の電位差が発生し、接地極間サージを誘発するリスクが生じうる。



図－3 現況の処理場全体の雷保護システム

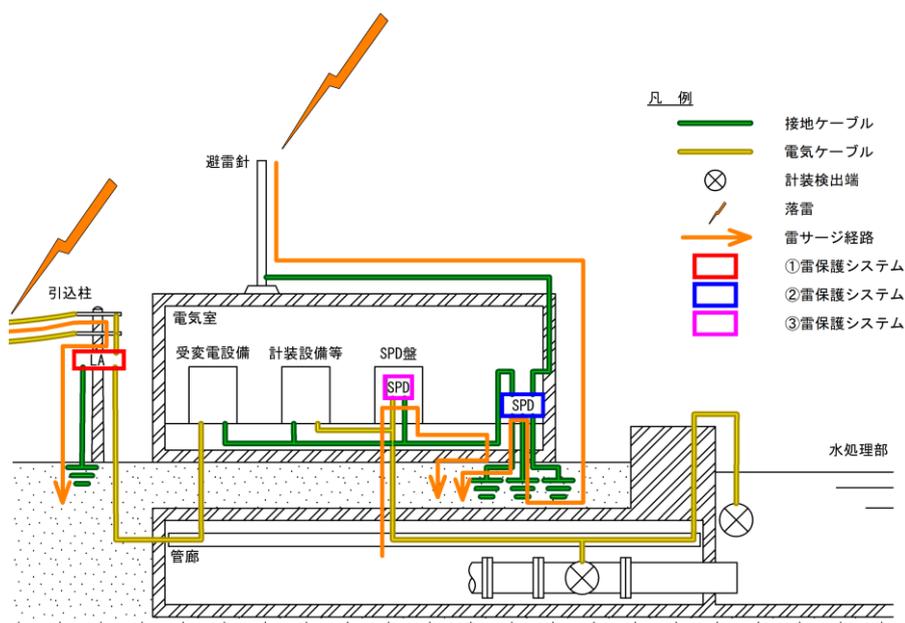


図－4 電気室における機器種別ごとの独立接地システム図

以上を踏まえると、現況の落雷対策の問題点は次の三点に整理できる。第一に、受電容量が小さい施設では LA が未設置となりやすく引込柱や送電線への直撃雷に対する脆弱性が残ること。第二に、接地を種別ごとに独立させる従来設計が残存し、等電位化が不十分なため接地電位差に起因するサージが発生しうること。第三に、SPD の適用基準が機器重要度と十分に結びついておらず、施設運用に不可欠な機器に対しても未設置の場合がみられることである。

5. 雷保護システムの検討・導入方針

前述の下水道における落雷対策の三つの問題点に対して、それぞれに雷保護システムを提案する。①特に落雷が増加傾向にある地域では、契約電力が 50kW であっても引込柱等に LA を設け、電力系統側から侵入する大電流サージを受電点で遮断する。②場内の接地極間を等電位ボンディングで結び、落雷時の接地電位差を低減し、接地を経由するサージの侵入を抑制する。この際、導体接続では悪影響の出る機器を考慮し、等電位ボンディング用の SPD を適用する。③制御・計装・監視など運転継続性が求められる重要な機器を機能ごとに選定し、電源線と信号線の双方で適切なクラスの SPD を適用することで、末端防護を徹底する。これら①～③の対策を、処理場全体に反映させることが望ましい。適用例を図－5 に示す。



図－5 雷保護システム適用例

これらの雷保護システムの適用に際して、施設運用への影響や導入費用を考慮した上で、最適な優先度を設定する必要がある。導入の優先度は、費用対効果と運用影響の観点から段階化できる。短期的には、①LA の設置と②等電位ボンディングの実施が、施工範囲が限定的であることから優先度が高い。いずれも場内停電を伴うものの、施工箇所が引込柱や接地端子箱内など局所的であることから、既設運用への影響は小さい。また、導入費用としても、LA と等電位ボンディングはいずれも比較的少ない施工箇所では効果を発揮するため、費用は抑えられる。中長期的には、対象点数に比例して費用・停止影響が大きくなりながら③SPD の配置を、設備更新と同期させて計画的に進めるのが合理的である。ストックマネジメント計画と連動させれば、更新時に機器へ確実に SPD を組み込み、機器の抜けや仕様不一致のリスクを低減できる。なお、LA と等電位ボンディングの効果範囲は一次・系統側および接地系の安定化に限られるため、末端機器保護として SPD は不可欠な補完要素となる。

6. 雷保護システム導入後の維持管理方法の検討

雷保護システム導入後の運用における問題点の一つとして、LA および SPD の耐用年数が挙げられる。一般的に、下水処理場の設備は適化法や指針に基づき、設備ごとに耐用年数が定められ更新されている。しかし、LA や SPD は、配電盤や計装盤などの設備を構成する部品として扱われることが多く、明確な耐用年数の指針が存在しないのが現状である。

一方で、メーカー保証期間は、LA が概ね 15 年、SPD は 10 年とされる場合が多く、それぞれ取り付けられる設備の適化法上の耐用年数とも概ね整合する。理想的には、設備更新に合わせて LA および SPD を同時更新し、保証期間の超過運用を避けることが望ましい。

しかし、実際の下水处理場の運用においては、土木・建築・機械・電気の工種毎の場内の更新・増設順序や工事単位、予算運用などの兼ね合いにより、機器の更新年度が遅れ、機器が耐用年数を超えて使用されているケースが少なくない。この場合、保護機能確保のために、場内に設置された SPD が機能しているかを定期的に点検し、避雷機能を喪失した SPD を適切に交換する必要があるが、点検対象が膨大となり、機能喪失の把握が遅れてしまう可能性がある。点検性を高めるためには、故障表示機能付き SPD を採用して目視点検を簡素化し、可能であれば SPD 専用盤を設けて配置を集約することで点検動線を短縮する方法が有効である。これらを年次点検、雷雨後の臨時点検で行い、適宜交換を行う運用が有効となる。

7. おわりに

落雷は、自然災害の中でも発生場所の予測ができず、雷サージの侵入経路も多岐に渡ることから、設備を完全に保護する対策は難しい。理論上の完全な対策を行う場合は、以下に挙げる例のような大規模な対策が必要となり、実現には膨大なコストを要することが予測される。

- ・場内の接地線をすべて再敷設し、同一の接地極に接続する。
- ・屋外に設備・配線を配置せず、すべて埋設配管、建屋内に設置する。

このため、対象施設の気象条件、施設構成、機器の重要度、運用方法等を加味しながら、適切な施工範囲で効果的な対策を講じることが最適である。近年の気象状況から、今後も落雷を伴う局地的豪雨が増加することが予測され、特に冬季雷の発生する地域、近年落雷が増加傾向にある地域においては、施設運用に関わる重大なリスクになる。よって、下水处理場においては、今後の運用、更新計画に合わせた計画的な落雷対策が必要となる。本稿が落雷対策検討の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 気象庁、大雨や猛暑日など（極端現象）のこれまでの変化、2025、
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html、（参照 2025/10/2）
- 2) (株)フランクリン・ジャパン、雷ぶらり、2025
<https://www.franklinjapan.jp/raiburari/data/>、（参照 2025/12/22）
- 3) 道本光一郎、気象レーダーを利用した雷放電活動の予測法に関する一考察、日本大気電気学会、2012、32、pp.1-11
- 4) 杉本仁志、配電設備の雷害対策（冬季雷）、電気設備学会誌、2009、29、pp.414-418
- 5) 松井倫弘、道下幸志、横山茂、佐藤智之、東北地方の日本海沿岸における雷電荷高度と低構造物への冬季雷被害、電気学会論文誌 B、2018、138、pp.829-836
- 6) 日本雷保護システム工業会、雷害対策設計ガイド、2016
- 7) 日本下水道協会、下水道施設計画・設計指針と解説、2019、p.707、p.731