

自然災害等からの電気設備の復旧

Electrical Equipment Restoration from Natural Disasters



おか べ しん いち
岡 部 紳 一*

キーワード：災害汚染、災害復旧、事業継続計画、自然災害

1. はじめに

2011年に東日本大震災とタイ洪水が発生し、約2年が経過する。今までの想定を超えたこの二つの巨大災害が引き起こした被害、影響を直接体験し、多くの企業が災害対策を見直している。防災対策が不十分であった企業は、より深刻な被害を蒙った。また、早急な再開を目指すために有効な事業継続計画(BCP)の必要性が再認識された。防災対策は主に事前対策であり、事業継続計画は災害後の対応策の取組みであるが、災害対策は、事前対策、緊急時対応、事後対策の3段階で考えることが必要である。本稿では、自然災害等で被災した電気設備などの緊急時対応から早期復旧に向けた事後対策において、国内ではまだ十分には知られていない災害によって汚染した設備機器の早期修復技術について取り上げたい。

2. 自然災害などによる災害汚染からの復旧

東日本大震災では、震動による破損、減損などの物理的な損害、配管の破裂によるガス・液体漏れによる汚染や火災発生、その後の津波による破壊や海水・泥による汚染が非常に広域に発生した。災害においては、物理的な破損や減損だけでなく、災害汚染も発生する。火災事故でも、焼損だけでなく、煙に含まれる腐食物質による災害汚染が発生する。災害直後には、物理的に損害の大きい設備に目を奪われてしまい、災害汚染を起こしてい

る設備機器への処置が遅れたり、全く実施されずに、復旧できる機器がそのまま復旧不能(全損)となってしまう事例も少なくない。東日本大震災でも、このような災害汚染を除去する修復技術が採用され、復旧された事例が表-1に示したものである。津波によって海水と泥が押し寄せた製造工場の特高変電所、受配電設備、生産設備の汚染除去を実施して早期に復旧されたケースや、地震動で半導体工場の配管が破損して薬液が漏れ、クリーン

表-1 東日本大震災の被災と主な修復事例

業種	災害と被災	修復対象の設備など
製造業	津波： 海水浸水、泥汚染	受配電盤、大型冷蔵庫、建物消臭、滅菌
	津波： 海水浸水、泥汚染	特高変電所、電気設備、計測機器
	地震： ガス漏れ汚染	クリーンルーム、半導体装置
造船業	津波： 海水浸水、泥汚染	特高変電所、電気設備、生産設備、文書
	津波： 海水浸水、泥汚染	溶接機
法務局	津波： 海水浸水、泥汚染	登記関連文書



写真-1 東日本大震災で被災したキュービクルの修復

*東京海上日動リスクコンサルティング(株)/アニコムホールディング(株)
1950年1月生まれ、香川県出身。1973年京都大学法学部卒業、同年東京海上火災保険(株)入社。2004年東京海上日動リスクコンサルティング(株)入社。2011年長岡技術科学大学非常勤講師(リスクマネジメント)。2012年東京海上日動リスクコンサルティング(株)顧問、アニコムホールディング(株)監査役。

ルームと製造設備の汚染除去を実施したケースなどがある。写真-1は、東日本大震災の被災したキュービクルの修復写真であるが、矢印で示したレベルまで海水が浸水したが、汚染除去の技術で修復された。建物設備だけでなく、重要な文書、図面も被災した。海水に浸かり、泥まみれとなった法務局の公文書や企業の重要文書を凍結真空乾燥の技術で修復した事例もある。この凍結真空乾燥は、食品薬品の製造で使われるフリーズドライとして知られる。海外では、災害時に水濡れ損害を被った図書文書類の修復に広く活用されている。日本ではこのような修復方法がほとんど知られておらず、残念ながら、活用されていない。

3. 被災(汚染)設備の復旧の3ステップ

自然災害や火災事故などによって広範囲に災害汚染が発生するが、必要な処置が遅れたり、放置されたままとなっていると、図-1に示したように、単なる災害汚染から深刻な腐食へと進行していく。海水、雨水の浸水、薬液などの漏えい、煙、すす、粉末消火剤で汚染すると、その直後は設備が汚染した(汚れた)だけで物理的な損害は発生していない。腐食も発生していない。しかし、そのまま放置すると、汚染した物質に含まれる腐食物質や水分、湿気によって、徐々にサビが発生し進行する。現場が高湿度であれば、急速に腐食が進行する。最初は、非常に薄い局所的なサビの膜が発生し、徐々に保護され

ていない金属表面に広がりながら深く腐食していく。腐食が進行していくと、物理的な損害が発生し、錆びた部品などの一部の取替えが必要となる。さらに進行すると、サビが設備全体に及び、かつ、より深く金属を腐食させ、サビによって設備が全損となる最悪の事態に至る。したがって、災害汚染が発生した場合は、サビの発生と進行をできるだけ早く止める処置をとることで、設備の損害拡大を防止し損害が抑えられると、より早い復旧が可能となる。

災害汚染した設備を復旧するには、表-2に示した3ステップが実施される。

- ①災害汚染状況を調査(クイックテスト)して、設備が修復できるか否かを判断する。
被災の程度を調査し、汚染しているが修復できる設備を特定し、汚染範囲=汚染除去を必要とするエリアを隔離する。同時に、汚染されていない範囲を確認することも、修復計画を立てる上で非常に重要である。
- ②修復可能と判断された設備は、損害拡大を防止する緊急安定化処置を実施する。
サビが進行しないように安定化させ、それ以上損害が拡大するのを防止するのが目的である。できるだけ早く、できれば12~24時間以内に実施することが好ましい。サビの発生と進行は、後述するように湿度にも大きく左右されるが、この期間を過ぎても、サビの進行が遅い場合もある。
- ③緊急安定化処置を実施して、時間稼ぎをしている間に復旧計画を策定し、その優先順位に従って汚染設備を精密洗浄して、被災前の状態に修復させる。

4. 第1ステップ・災害汚染のクイックテスト

被災現場で、災害汚染した設備機械の汚染度を、簡便かつ迅速に調査する手法が、図-2で示したクイックテストである。1センチ平方の試験紙を純水でぬらし、汚染

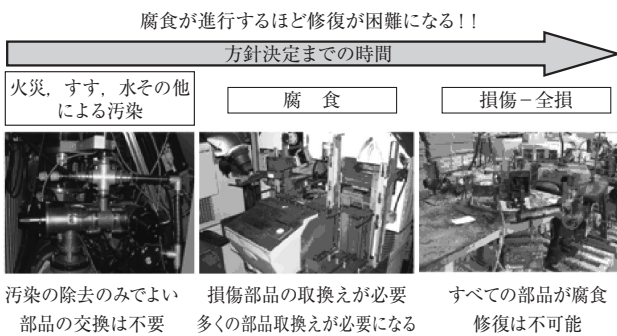


図-1 災害汚染から腐食への進行

表-2 早期復旧のための3ステップ

1	クイックテスト 損害調査 (物理的損害か、災害汚染か)	全損か、修復可能か 災害汚染範囲の特定
2	緊急安定化処置 腐食による損害拡大の防止 処置の実施	可能であれば、24-48時間以内に処置。汚染機器の劣化を止める
3	精密洗浄 災害汚染・腐食の除去	被災前の稼働状態に戻す。 迅速な復旧が可能に

イオン汚染度	汚染程度	変色割合	機器への汚染の影響
1-5 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	正常域の汚染		影響はない
5-10 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	軽度の汚染		長期間のうちに、 汚染機器の状態が悪化(腐食)
10-20 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$	中度の汚染		短期間のうちに、 機器の状態が悪化(腐食)
20 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 以上	重度の汚染		数日以内に、 機器の状態がかなり悪化(腐食)

図-2 イオン汚染調査(クイックテスト)

した設備機器の金属表面に、指で20秒押さえつけると、腐食性の強いハロゲン系の物質などに反応して試験紙の色が変化する。その色変化の割合いで、図-1に示した汚染度を判定する。4段階の汚染レベルのうち、 $1\text{--}5\mu\text{g}/\text{cm}^2$ の汚染は、正常域の汚染で除去は必要ない。しかし、これを超えるのは汚染除去が必要である。 $20\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 以上の汚染状態で、高湿度の環境下のあれば、数時間のうちに錆びてくる。ちなみに、発汗すると人間の指もこのレベルの汚染度である。このクイックテストは、災害現場において被災した設備機器に実施することで、すぐに汚染度と汚染を除去すべき範囲を判定できるメリットがある。

5. 第2ステップ・緊急安定化処置

第1ステップで汚染範囲が確定されると、腐食の発生と進行を防止するために、緊急安定化処置を実施する。緊急安定化処置には、酸性の汚染物質を中和し除去する予備洗浄や、長期間維持できるワックス塗布の方法も実施される。図-3のグラフは、火災事故の例であるが、プラスチックなどが燃焼して発生するハロゲン系の腐食物質で汚染した場合の汚染した設備機器の腐食スピードと湿度の関係を示している。グラフ線上の星印(★)は、臨界湿度を示しているが、塩化水素では相対湿度(横軸)が50%を超えると、急に腐食スピードが上がるのが分かる。災害現場の湿度が高いまま、災害汚染が放置されると、その汚染によって設備機械の損害が進行していくのである。しかし、このグラフをよく見ると、相対湿度が0%~40%までは、グラフ線がほぼフラットであり、このゾーンでは、ほとんど腐食が進行しないことを示し

ている。同じ汚染レベルでも、現場の湿度の高低でサビが発生し、進行するかどうか大きく分かれる。言い換えると、汚染された設備機械のおかれた環境の湿度をコントロールすることで、腐食の進行を抑えることができることを意味している。

損害拡大防止のための緊急安定化処置として除湿を

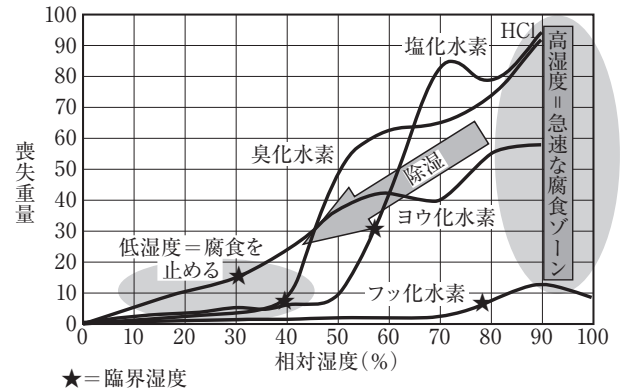


図-3 各種イオンに対する腐食率



写真-2 除湿による緊急安定化処置

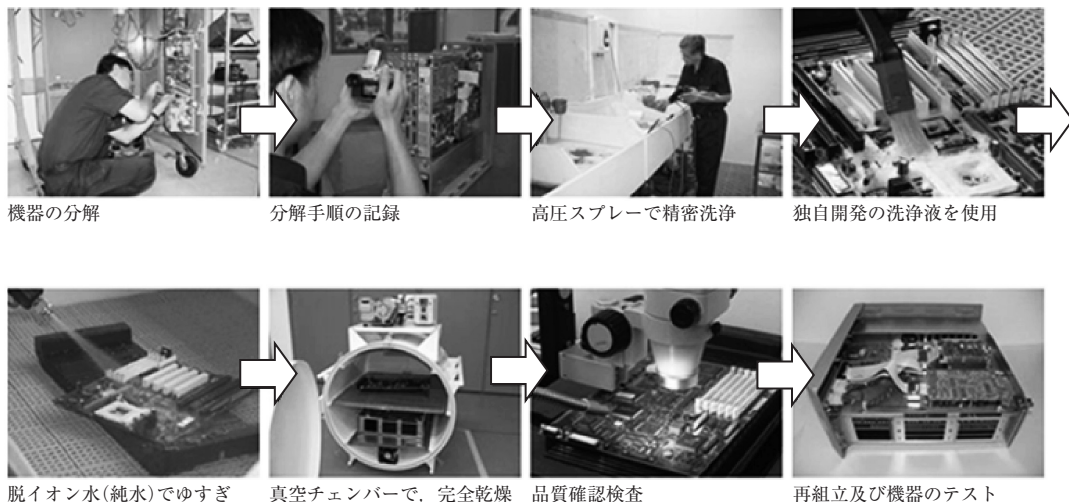


写真-3 電子機器の精密洗浄のプロセス

実施する場合は、汚染した区域を密閉して、除湿機を設置する。密閉した内部は、湿度40%以下に保ち、データロガーで常時監視しながら24時間除湿する。写真-2で示したように、災害汚染した設備をビニルシートで包み、内部に除湿機を設置して除湿する方法もある。日本国内でも、最近は多くの災害現場で実施している。

6. 第3ステップ・精密洗浄

第3ステップは、本格的な修復方法として、災害汚染した設備機器の汚染を除去する精密洗浄である。写真-3に電子機器の精密洗浄のプロセスを掲げた。ベルフォア社がエレクトロニクス機器用に開発した汚染除去剤を純水に溶かして、泡立ててコンピュータ回路基板を水洗いしている。半導体チップは樹脂で被覆されているので、洗浄が可能である。純水ですすいだ後は、乾燥工程に入るが、真空チェンバーを使って、水分を蒸発させる手法を使う。チャンバー内を基板のプラスチックが熱損傷しない温度まで上げて空気を抜き、気圧がほとんどなくなると水分は水蒸気となって蒸発し、隅々まで水分が除去される。これを数回繰り返すことで、短時間に回路を完全に乾燥させることができる。東日本大震災で被災した多くの電気設備や電子機器が、この手法で復旧された。実際に見学した技術者からも、電気設備に水洗いの方法があったのかと驚きの声がよく聞かれる。

大型のキュービクルの精密洗浄の方法も、基本的に同じである。写真-4にキュービクルの精密洗浄のプロセスを示す写真を掲げた。キュービクルの精密洗浄は、取り外しできるパーツは取り外し、盤はそのままスプレー又はブラシなどで洗浄する。純水ですすいだ後、キュービクルをプラスチックシートで密閉空間をつくり、除湿機と温風機を設置して、1日半程度乾燥させる。この手法を使えば、一般的なキュービクルであれば、10面を5日間で修復できる。

東日本大震災では、津波による海水の浸水を受けたキュービクルでも、腐食の進行が遅く、精密洗浄の方法で復旧できたものも多い。前出の写真-1の例も同様であった。

7. アイス・ブラスターによる汚染除去

写真-5に示したのは、汚染した表面にドライアイス

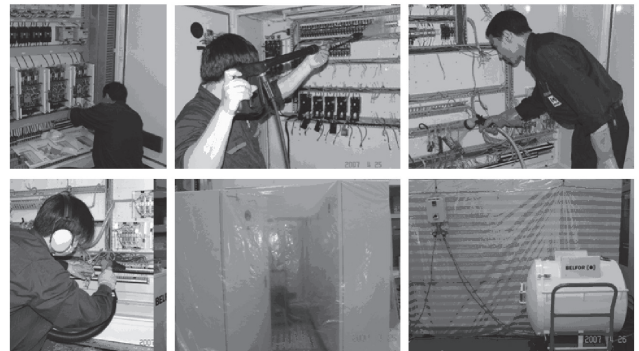


写真-4 キュービクルの精密洗浄のプロセス



写真-5 アイス・ブラスターによる汚染物の除去

を高速で吹き付けて、汚染物や腐食層を除去する新しい手法である。吹き付けたドライアイスで急激に表面が冷やされ汚染物などがもろくなり、ドライアイスのペレットの衝撃で表面から剥離する。ドライアイスは霧散し残らないメリットがある。

8. おわりに

企業が、自然災害に対する事前対策を実施しても、災害自体を減らすことはできない。万一、そのような自然災害に遭遇した際に備えて、事業継続計画(BCP)が注目されているように、緊急時対応及び早期の事業再開の対策を講じておくことも不可欠である。本稿で紹介した汚染除去による修復技術が活用できれば、長期間要する取り替えしかないと思われた設備機器が、早期に修復可能となる。その観点から、今までに見逃されがちであった災害被災(汚染)した設備機器の修復に、本稿で紹介した修復手法を、もう一つの早期復旧の選択肢としてお考えいただければ幸いである。