

災害からの迅速な復旧 —見逃されている災害汚染の対応策—

岡部 紳一

内閣府の事業継続ガイドラインが発表されて3年となり、各種アンケート調査でも、事業継続計画の策定の取り組みが進んでいると報告されている。いつ起こるかもしれない災害が、突然企業を襲った場合に、直後の災害緊急対応時に、どれだけ迅速かつ適切な対応がとれるように現場に徹底されているであろうか。事業の早急な再開には、被災した設備機械を保全・保護し、修復可能な設備は直ちに修復に向けた処置を開始することが求められる。しかしながら、災害で汚染した設備機械に対する修復方法について、見逃されていることが多い。本稿では、事業の早期再開に有効である汚染除去の手法を活用した迅速な対応策を紹介する。

キーワード：事業継続計画、BCP、BCM、災害汚染、汚染除去、精密洗浄

1. 防災対策から BCP 策定へ

2005年に内閣府の事業継続ガイドラインが発表されてから3年が経過する。今年1月には、内閣府が企業の事業継続及び防災の取り組みに関する実態調査を実施し、その結果（1518社回答）が6月に公表された。その結果によると、防災計画を策定している企業は、全体で47.7%、大企業が68.2%、中堅企業が45.9%である。一方、事業継続計画（BCP）の策定状況は、全体で見ると、①策定済み=11.5%、②策定中=5%、③策定予定=12.4%となっている。

また、KPMG ビジネスアシュアランス社が、上場会社、または売上500億円以上の未上場企業を対象に実施し、8月に公表されたアンケート調査（293社回答）では、2006年から2008年への推移がわかる。①策定済みが15%から39%へ倍増し、②策定中も34%から39%へと増加、①②を合計すると49%から78%と大幅にBCP策定が進んでいる。大企業ほど、BCPの取り組みが進んでいることがわかる。反面、防災取り組みをしている企業の約半数しかBCP策定に取り組んでいないこともわかる。

防災対策とBCPには大きな違いがある。従来の防災対策は、火災対策ならばスプリンクラーを設置、地震対策ならば建物の耐震性を向上させるなど個別の災害種類や損害形態に注目して対策が実施される。BCPの観点では、どのような災害や事件であろうと操業が阻害され中断してしまった場合に、早急に復旧する体制

を構築することにある。つまり、自社の操業継続に不可欠のリソース（建物、設備機械、社員、IT、電力・ガス・水道などユーティリティ）が、災害によって使用できない（または手に入らない）事態にどう対応するかにある。火災で施設や設備機械が被災し、工場が稼働できない、鳥インフルエンザなど必要数の社員が出社できない、コンピュータがダウンしてしまう、大停電により電力供給がストップしてしまうなどの事態が想定できる。

防災対策は、リスクを低減させるために不可欠であるが、防災対策をすれば災害がなくなるわけではない。災害の発生に備えた災害時の対応、被災した場合の復旧の計画を予め策定しておくことが不可欠である。

2. 身近な火災事故からの復旧

災害の中でも頻度が高く、事業中断をきたすことの多い日常的な災害は火災である。本稿では火災事故を中心にして、災害復旧について述べてみたい。筆者は各企業を訪問し、災害復旧について話すことが多いので、機会があれば、次の質問をすることにしていく。

質問1：「仮に、主要工場で火災が発生し、消火活動により鎮火した場合を想定して、『鎮火後に、具体的に何をすべきか、社内で詳細に決まっていますか?』よくある答え：「鎮火した後は、それぞれの現場に任せている」

この答えは間違いではない。小火程度であれば、現場に任せることで十分に対応可能であろう。しかし、一定規模以上の火災になると、まったく現場任せでは混乱を招いてしまう。早急な業務再開に向けて、現場の混乱を防止するため、何から手をつけるべきか、予め決めて、現場に徹底しておかなければならない。

質問2：「どの生産ライン、またはどの設備機械が、最優先で復旧しなければなりませんか？」

よくある答え：「すべての生産ラインが重要です」

すべての生産ラインが、同じように操業再開できる場合は、この答えでも問題ない。しかし、一定規模以上の火災となると、すべてのラインを同時に再開することはできないことが十分想定される。その際にどの生産ラインから最優先で立ち上げるのかは、企業の経営マターであり、現場判断に任せるべき事項ではない。

この二つの質問に対するよくある回答から判断すると、災害直後に何をすべきか具体的に決まっていな企業が多いのが実情のようである。

災害復旧のステップは以下のように段階別に整理するとわかりやすい。

- ①災害前の防災・減災対策
(災害発生)
- ②災害直後の緊急対応
- ③代替手段による早急な再開
- ④恒久的な復旧と本格的な再開

火災が発生すれば、消火活動を行う。自衛消防隊の手に負えない火災は消防署に通報し、消防署の出動を要請する。何よりも、災害時の人命救助が最優先である。従業員や社外の訪問者の避難、負傷者の応急手当を実施する。ここまでは、ほとんどの企業で決められており、社内の防災訓練も実施されている。問題はその次の段階でやるべきことである。最優先の人命救助の次には、操業の再開に向けた対応策を実施しなければならない。

その対策とは何か。以下の項目が挙げられる。

- ①被災状況の調査確認
焼損し全損となり再調達が必要な設備はどれか、どの機械は修復可能か。
- ②被災した設備機械保全・保護
二次災害の防止や、被災した設備機械の損害(主に腐食損害)の拡大の防止策を講じなければならない。
- ③バイタルレコードの確認・確保
操業再開に不可欠な図面、文書、データは無事か。
以上は、業務再開に向けての主な項目であるが、そ

れぞれの現場に即して、具体的に実施すべきことが明確にされ、徹底されているだろうか。

3. 火災による焼損と煙汚染

火災事故により何が起こるか、もう少し詳しくとりあげてみたい。

火元近く及び火勢の強い区域では熱損害(焼損)が発生する。数百度以上になることもあり、鉄骨なども飴のように曲がり、コンクリートも剥離するような被害が発生することもある。熱損害を被ると修復はできないので、取り替えるしかない。

しかし、火災現場では、このような焼損を被った区域は比較的限定されていることが多い。その周りに煙、煤、放水、粉末消火剤などで汚染しているだけの区域が、その何倍もの広さで発生する。熱損害が発生しているかどうかを見極めるには、天井の照明器具のフレームや、制御盤などのプラスチックに着目すればわかりやすい。プラスチックは、通常80~100℃で熱変形を起こすので、熱で溶けていないか、変形していないかを見ると、大まかにその80~100℃以上の熱にさらされたかがわかる。

塩ビなどプラスチックで被覆された配線類も、100℃以上の温度にさらされると燃焼し、塩素イオンを含んだ腐食性の強い煙となって構内に拡散し、建物、設備機械を広範囲に汚染してしまう。

被災直後には、できるだけ早く損害状況を確認し、被災した機械設備が修復できるのか、できるだけ早く見極めることが非常に重要である。しかし、火災直後の現場の状況には、よほど災害現場に慣れた人でなければ、容易にだまされてしまう。

①焼損と汚染損害を見間違えてしまう。

設備機械が真っ黒の煤まみれになっていると焼損していると勘違いしてしまう。あたりのプラスチックの熱損傷の有無をチェックして、熱損害がなければ、機械の表面に積もった煤を雑巾で拭き取ると、きれいな金属表面が現れてくる。

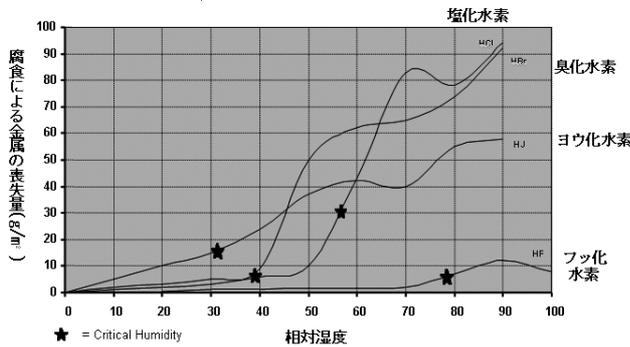
②汚染損害に気づかない。

煤は炭素の黒い粉末であるので、目視で確認できる。機械の表面を指で拭いてみると黒く汚れるので簡単にわかる。しかし、プラスチックが燃えて発生する塩化水素などハロゲン系イオン汚染は、目に見えないので厄介である。何が燃えるかによって、煤が余り発生せず、腐食性の強いイオンが多量に発生する火災もある。イオン汚染は目に見えないので、科学的な調査をしないと汚染範囲と汚染レベルは確認できない。

或る工場の小規模な火災事例で、復旧を急ぐため、煙で汚染した機械表面を雑巾などで清掃しただけで、操業を開始したところ、1ヶ月後に後半の製造ライン設備機械のいたるところに腐食が発生してしまった。酸性である塩素イオンで汚染すると、中和させない限り、雑巾がけの清掃では取りきれないので、このようなことが起こる。

4. 火災による汚染度の調査

図—1は、火災汚染で一般的な塩化水素など4種のアロゲン系のイオン汚染による腐食と相対湿度の関係を示したグラフである。



図—1 各種イオン汚染に対する腐食率

このグラフは二つのことを教えてくれる。塩化水素イオンで見ると、相対湿度が50%あたりからグラフ曲線が急に立ち上がり、急速に腐食が進行することを示している。消火放水された火災現場は高湿度な環境にあるので、そのまま放置すれば、汚染した設備機械が急速に腐食することを意味している。

しかし、同じ汚染の程度でも、相対湿度が40%以下の環境では、グラフ曲線が平坦であり、腐食の進行は非常に遅い。つまり、湿度を40%以下にコントロールすれば、腐食の進行を抑制できることを示している。これは、災害直後に何をすべきかを教えてくれる。

では、このような腐食性の強いイオン汚染をどのように調査すればいいのか。残念ながら、日本国内においては、災害によるイオン汚染の科学的な汚染調査手法はほとんど知られていないので、ほとんど普及していない。

欧米では、幅広く専門家によって活用されている方法がある。塩素（クロライド）のクイックテストといわれる。1センチ四方の試験紙に脱イオン水をたらし、汚染したと思われる金属表面などに数十秒間押しあて

表—1 イオン汚染度と機器への影響

イオン汚染度	汚染程度	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	長期間の内に、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	短期間の内に、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)

け、汚染物質の量に反応して変色する割合を調べる簡便な方法である。この方法では、変色の割合によって表—1のように4分類している。

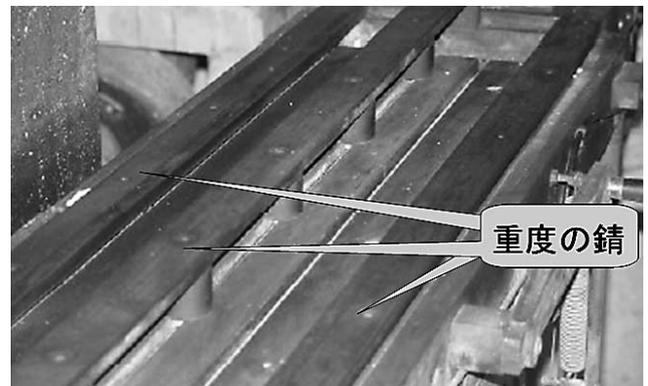
災害汚染したと思われる現場の何ヶ所ものスポットで調査し、この調査結果とその測定場所を現場の平面図（機械設備の配置図）に書き入れて、汚染マップを作成する。汚染マップで、どの範囲がどの程度汚染しているかが一目明瞭となる。同時に、汚染されていない範囲も判明する。われわれが出勤する火災現場においても、できるだけ早く汚染範囲を調査確認してほしいとの強い要請はいつも受ける。

PHの検査も、類似の方法であるが、これは酸性、アルカリ性を調査する手法であり、腐食を引き起こす汚染程度を直接示す指標ではない。

5. 汚染から腐食へ

(1) 火災汚染による腐食損害は恐い

写真—1は、火災3日後の写真である。この現場では鎮火後に何もされず、火災3日後の調査時点で、室内の湿度は70%を超えており、重度に汚染したNCフライス盤のガイドレールは、ひどく錆びてしまっていた。災害直後に必要な腐食防止処置を施しておけば、この機械は全損を免れたであろう残念な事例であった。



写真—1 NCフライス盤のガイドレール

(2) ステンレス鋼でも例外ではない

専門家には、知られた現象であるが、ステンレスも錆びる。しかし、火災現場で経験する限り、一般人の常識にはなっていないようである。

写真-2は、クリーンルーム内の火災後の写真であるが、ステンレスの表面が腐食して茶色に変色し、輝きを失っている。この写真は火災のわずか数日後に撮られたものである。



写真-2 クリーンルーム内のステンレス腐食

この写真は、クリーンルーム内でプラスチックが大量に燃焼し、腐食性の強いガスが構内に充満し、設備機械が重度に汚染したため、わずか数日でこのように腐食が進行してしまった例である。

ステンレス鋼は、その耐腐食性を高めるためにクロムなどを含んだ合金である。その表面には、非常に薄い化学的にも安定した酸化膜が形成されている。ステンレス鋼の耐腐食性は、この不動態の膜が永続することで確保され、多くの化学薬品に対して強い抵抗力を有している。しかし、塩酸（HCL）やシュウ酸（HBr）のようなハロゲン化水素酸は侵食性が強く、湿気が加わるとステンレス鋼の表面に重度な変化をもたらす。

不動態層が破壊されてしまうと、腐食の進行を防ぐことができない。初期の腐食は、横方向には急速には進行せず、局部的に限られるので「孔食」と呼ばれる。孔食は、金属の表面に対して90°の方向に非常に速く突き進む。孔食は、ほとんどが液滴で形成されるようなものに似ており、通常直径がごく微細な開口部のみ表面で観察できるものであるが、深さは急速に増す。

写真-3は、火災後にステンレスパイプに発生した孔食である。

火災直後には、熱損害（焼損）もなく、機械表面に煙が降りかかっただけ、（または、消火放水で濡れただけ）の汚染した状態であったものが、徐々

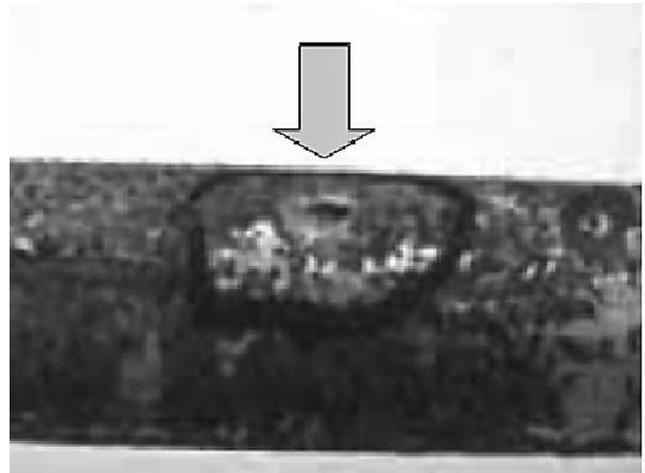


写真-3 ステンレスパイプの孔食

に（高湿度では急速に）腐食が進行し、金属表面を侵食していく。部分的な腐食から全体へ広がり、手で拭い取れるほど薄い表面だけの腐食から、内部へと深く侵食が進行していく。最後には、当初は汚染されただけの機械が腐食損害で修理不能、全損となってしまう。

6. 腐食を止める緊急安定化処置

意外に気づかれていない火災汚染に起因する腐食損害がいかに深刻であるか、おわかりいただけたと思う。腐食を止めるにはどうすればよいか。災害現場で実施される処置を挙げると、以下のとおりである。災害直後の緊急処置として、腐食の進行を止める（＝安定化させる）意味で、緊急安定化処置と呼んでいる。

(1) 予備洗浄

災害汚染した金属表面の汚染をできるだけ早く拭い取る。本格的な汚染除去作業を実施する前に、汚染レベルを下げておく。酸性の汚染物質は中和させない限り、完全にとりきれないが、そのレベルを下げておくことは腐食を抑制するには有効である。

(2) 防錆剤の塗布

金属表面に防錆剤を塗布し、空気を遮断するのは、一般的に実施されている有効な方法である。しかし、個々の機械設備に塗布するので、被災が広範囲に及ぶ場合には、相当な時間とスタッフが必要となる。また、市販されている一般の防錆剤では長持ちしないので、繰り返し塗布しなければならない。または、効果が長期間持続する特別な防錆剤を塗布しなければならない。電気、エレクトロニクス機器には、防錆剤は塗布できないので、別の処置が必要である。

(3) 除湿

前出のグラフ曲線が示すとおり、高湿度によって腐食は加速され、逆に低湿度ではコントロールされる。その境界線は、相対湿度 40% である。写真-4 は実施例である。被災（汚染）した機械をプラスチックシートで包み、その中に除湿機を設置し、40% 以下の湿度に維持する。



写真-4 汚染した機械の除湿

被災が広範囲に及び多数の機械に防錆剤の塗布をする時間的余裕がない場合などは、被災したフロア全体を密閉し、外に強力な除湿機を設置して、フロア全体を除湿することも実施する。残念ながら、わが国ではほとんど実施されていないが、除湿はきわめて有効である。

(4) 移設

汚染した設備機械で、移設することが可能なものは、乾燥した一時保管場所へ移動させることも有効な措置である。

7. 汚染除去による修復—精密洗浄

煙、消火水、粉末消火剤で汚染した機器設備は、どのように恒久的な修復を行うのか。

腐食性の強い化学物質で汚染した機器設備の汚染は、通常の故障などの修理と異なり、一部の部品やアセンブリーの交換では解決しない。災害汚染では、機器設備全体が汚染してしまうため、一部の部品を交換しても、汚染の残った他の部分から、また汚染してしまうからである。したがって、汚染した機器全体を汚染除去しなければならない。そのために、この分野の専門業者が実施するのが精密洗浄である。

精密洗浄のポイントは、①各種の汚染に対応できる適切な汚染除去剤の選択、②精密洗浄の技術、③真空チャンバーによる乾燥である。写真-5 は、汚染し

たエレクトロニクス機器から取り外した基板を高圧スプレーを使って、精密洗浄しているところである。純水に汚染除去剤を加えた洗浄水を高圧スプレーで噴射して、洗浄している。汚染だけであれば、このような洗浄で災害前の状態に修復が可能である。

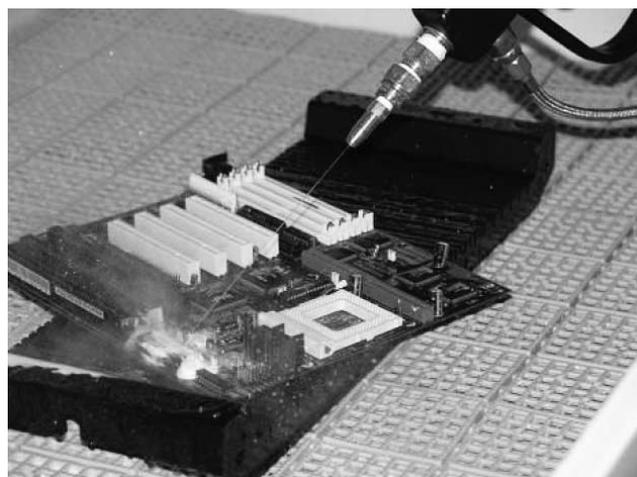


写真-5 高圧スプレーで基板を精密洗浄

さらに、腐食が発生している機械設備であっても、腐食によって金属が致命的なほど侵食されていなければ、腐食を精密洗浄で化学的に除去し、汚染物質を完全に取り除くことで修復可能である。しかし、精密な加工を行う工作機械では、ガイドレールなど重要部品が腐食で損害を受けてしまえば、腐食が除去できても、侵食された金属表面によって被災前の精度が出せなくなってしまう。

既述のとおり、災害直後に如何に手早く腐食を抑える処置を実施するかで、腐食損害が最小限に抑えられ、修復作業自体も少なくすみ、修復期間が短くなる相乗効果が発生する。

この精密洗浄による修復の最大のメリットは、修復スピードが非常に早いことである。たとえば、受配電盤 10 面が火災の煙及び消火放水で汚染した場合であれば、5～6 日で修復可能である。コンピュータ室の小火で、煙及び消火粉末で汚染したサーバー約 100 台を、平日の日中のオペレーションをまったく止めず、夜間と金曜の夜から月曜の早朝までの週末の一日 24 時間作業で、約 20 日間で修復した事例もある。このようなスピードで修復が可能となる。洗浄で修復した約 100 台のサーバーを新たに置き替えるとなると、数ヶ月以上要し、その間のオペレーションは停止せざるを得なかったであろう。

この精密洗浄は、汚染損害（及び軽微な腐食損害）を対象とする修復方法であり、万能ではない。しかし、

わが国ではほとんど知られていない方法であるので、従来の修復方法に加えて、修復期間を大幅に短縮できる新たな選択肢としての重要な意味がある。

8. 最後に

災害汚染による被害の復旧について、あまり注目されていないのが現状と思われるが、被災（汚染）したまま放置されることで、腐食損害が進行してしまい修復の機会を喪失してしまっているケースが非常に多いのではないかと推測される。災害汚染の腐食損害を止めるには、汚染物質の種類、汚染レベルと現場の相対湿度によって大きく変わってくるが、通常災害後24～48時間以内に緊急安定化処置することが求められる。予めそのような損害に備えた準備をしていないと災害直後に躊躇なく迅速な対応をとることはむずかしい。BCPの策定においても、災害直後の緊急対応段階で、汚染損害をも念頭にいたった損害状況調査、それ

に基づく腐食損害を止めるために緊急処置の実施策を具体的に定め、現場にも徹底して、災害が明日に起こったとしても、直ちに迅速かつ適切な対応ができるような体制を構築しておくことは重要な課題である。

JCMA

《参考文献》

- 1) 内閣府（防災担当）：企業の事業継続及び防災の取り組みに関する実態調査の結果とりまとめについて（2008年6月）
- 2) KPMG ビジネスアシュアランス：事業継続マネジメント（BCM）アンケート2008
(http://www.kpmg.or.jp/resources/research/r_ba200808/01.html)
- 3) ベルフォアジャパン：精密洗浄のガイドブック

【筆者紹介】

岡部 紳一（おかべ しんいち）
ベルフォアジャパン(株)
取締役



■「建設の施工企画」投稿のご案内■

—社団法人日本建設機械化協会「建設の施工企画」編集委員会事務局—

会員の皆様のご支援を得て当協会機関誌「建設の施工企画」の編集委員会では新しい編集企画の検討を重ねております。その一環として本誌会員の皆様からの自由投稿を頂く事となり「投稿要領」を策定しましたので、ご案内をいたします。

当機関誌は2004年6月号から誌名を変更後、毎月特集号を編成しています。建設ロボット、建設IT、各工種（シールド・トンネル・ダム・橋等）の機械施工、安全対策、災害・復旧、環境対策、レンタル業、リニューアル・リユース、海外建設機械施工、などを計画しております。こうした企画を通じて建設産業と建設施工・建設機械を取り巻く時代の要請を誌面に反映させよ

うと考えています。

誌面構成は編集委員会で企画いたしますが、更に会員の皆様からの特集テーマをはじめ様々なテーマについて積極的な投稿により機関誌が施工技術・建設機械に関わる産学官の活気あるフォーラムとなることを期待しております。

(1) 投稿の資格と原稿の種類：

本協会の会員であることが原則ですが、本協会の活動に適した内容であれば委員会で検討いたします。投稿論文は「報文」と「読者の声」（ご自由な意見、感想など）の2種類があります。

投稿される場合はタイトルとアブストラ

クトを提出頂きます。編集委員会で査読し採択の結果をお知らせします。

(2) 詳細：

投稿要領を作成してありますので必要の方は電子メール、電話でご連絡願います。また、JCMA ホームページにも掲載してあります。テーマ、原稿の書き方等、投稿に関わる不明な点はご遠慮なく下記迄お問い合わせ下さい。

社団法人日本建設機械化協会「建設の施工企画」編集委員会事務局

Tel：03(3433)1501, Fax：03(3432)0289,
e-mail：suzuki@jcmanet.or.jp