

自然災害による産業事故について

公益財団法人総合安全工学研究所 事業部長

中村 順 Jun Nakamura

1. はじめに

自然災害により引き起こされる産業事故は、ナテック（Natech：Natural-Hazard Triggered Technological Accidents）と呼ばれる。

1995年1月の阪神・淡路大震災では屋外石油タンクの破損により被害が生じ、2003年9月の十勝沖地震では石油タンクの内容液と地震動の共振により浮き屋根の沈没、火災となり、2011年3月の東日本大震災でも多くの工場や石油、危険物の貯蔵施設などの被害がみられた。しかしその他の一般社会の大きな被害により、ナテックとしてはそれほど取り上げられることはなかった。

ヨーロッパでは、河川や湖、海岸の近くに多くの工場や危険物貯蔵施設があり、大規模な自然災害により、国をまたいで影響を受ける事故があった。例えば、洪水による塩素ガス漏洩や、燃料油の流出による河川の汚染などである。アメリカにおいてもハリケーンにより、大量の油の漏洩や、南部の工業地帯が洪水で広範囲に浸水するなどの被害が起こっている。そのため、ナテックについて議論され、その発生リスクや規制について検討されてきた^{1),2)}。

我が国でも最近では風水害による被害が顕著にみられるようになり、さらに近い将来に大規模地震の発生が懸念されており、自然災害による産業やインフラに及ぼす影響、被害について関心が高まっている。とくに、2018年以降自然災害が頻発するようになり、北海道

のブラックアウトや工場の爆発、火災事故などかなりの規模の被害が見られるようになってきている。その中には、太陽光発電などのように新たな産業の被害もみられた。本稿では、過去2年に発生した自然災害による産業事故及びインフラの被害について概要を紹介する。

2. 自然災害

2011年3月の東日本大震災では福島第一原子力発電所は、メルトダウンと水素爆発によって、大量の放射性物質の飛散と汚染水の海洋流出を引き起こした。この事故では、複数の事故調査報告書が出ているが、いずれも大規模地震とその後の津波によって全交流電源と直流電源を喪失し、原子炉を安定的に冷却する機能が失われたことを、直接的原因としている³⁾。大規模な地震と津波の複合した自然災害についての備えに不備があったことと、それに伴う被害を想定した防災対策がとられていなかったことが指摘されている。

自然災害が施設に被害を引き起こす可能性があるにもかかわらず、そのようなナテックのリスクに備えていない施設は、大規模な自然災害が発生した際に、多大な被害をもたらすことを福島事故は示している。

自然災害としては、地震、津波、地盤の液化化、台風、洪水、地滑り、雷、竜巻、大雪、干ばつ、火山の爆発などがあり、単独で起こる場合と、地震と津波、台風と高潮、洪水、火山と津波といった組み合わせが影響を増幅し

て大惨事に至ることもある。国内の工場、コンビナートなどの産業はその利便性から、河川、海岸の近くに立地していることが多く、これらの多くのナテックのリスクがあるといえる。

阪神淡路大震災、東北大震災でもナテックにより多くの事故が発生したが、最近では地震ばかりで

なく、台風や豪雨による大規模工業団地の浸水の被害が見られるようになってきている。また、それに伴って有害物質の流出も起きている。これは、地球温暖化の影響によるゲリラ豪雨、線状降水帯なども、その頻度、強度が増大してきていることにもよる⁴⁾。表1に2018年、2019年に起こった大きな自然災害について示す。

3. ナテックによる産業災害の分類

自然災害により、石油化学工場などでは危険物質が広範囲に多数、同時か時間差を持って漏洩、火災、爆発と物理的、化学的な被害をもたらす複合的なリスクがある。他の産業も含めて、ナテックでは、広範囲にわたる被害があること、直接的被害の他に、交通・物流の停止、停電、冷却設備などプラントの役割の停止などの間接的な被害、さらには、消火活動が困難なことによる火災の拡大、混触発火、自然発火などのように時間をおいてドミノ的な被害の発生もある。これらの被害が複合することにより、被害軽減対策も難しく、災害復旧においても長期間を要することになる。

表2にこの2年間に起こった自然災害による工場被害などの状況を示す。以下に、ナテック災

表1 2018年、2019年の自然災害一覧

発生年月	名称	被害
2018年6月	大阪府北部地震	M6.1 大阪府、京都府 死者6名 建物全壊21棟・半壊483棟 停電17万戸 ガス供給停止11万戸、断水9万5千戸
2018年7月	平成30年7月豪雨	西日本豪雨とも呼ばれ、近畿、中国、四国、九州地方で大きな被害 1府10県 死者263名 建物全壊6,783棟、半壊1万1,346棟、床上浸水6,982棟
2018年7月～8月	災害級の猛暑	約40日間 最大41℃ 東京、埼玉、岐阜、新潟
2018年9月	北海道胆振東部地震	M6.7 厚真町 死者41名、全壊409棟 停電300万戸、断水68,000戸 大規模停電ブラックアウト
2018年8月～9月	台風第19号、第20号、第21号	和歌山、奈良、大阪、長野、新潟 台風・豪雨 激甚災害指定 19号で死者86名、全壊3,202棟、半壊2万7,154棟
2018年9月～10月	台風第24号	鳥取、宮崎、鹿児島 暴風雨 激甚災害 死者5名、建物全壊47棟、半壊284棟
2019年8月	令和元年九州豪雨	九州北部 死者4名、全壊95棟 断水3,000戸 激甚災害 数十年に一度の非常事態
2019年9月	令和元年台風第15号	関東 全壊342棟 浸水家屋250棟、停電93万戸断水14万戸 激甚災害 千葉で停電が長期化 8割の携帯電話が通信障害 1カ月後でも数100戸停電
2019年10月	令和元年台風第19号	関東～岩手12都県 箱根全国1位の1日雨量 死者99名 全壊3,081棟、停電52万戸、断水16万戸 激甚災害および非常災害指定

表2 自然災害による工場被害などの状況

発生年月	名称	被害
2018年7月	西日本豪雨浸水	岡山でアルミニウム溶解炉が水蒸気爆発
2018年9月	台風21号による高潮、浸水	神戸市コテナ内のマグネシウム自然発火火災
2018年9月	北海道胆振東部地震	停電製鋼工場火災
2018年10月	台風24号本州通過	千葉塩害により停電、鉄道運休 家庭用太陽光発電設備の発火
2019年9月	佐賀県内における記録的な大雨	杵島郡の鉄工所から熱処理油11万リットル流出
2019年9月	台風15号千葉県通過	千葉県南部から北東部まで広範囲に停電が長期化 山倉ダム水上メガソーラーが損壊火災
2019年10月	台風19号による阿武隈川の氾濫	郡山メッキ工場から毒物のシアン化合物流出 福島で除染廃棄物袋などが川に流出

害の種類とそれによる被害について紹介する。

(1) 地震

2018年9月、北海道胆振東部地震を発端として北海道でブラックアウトが生じた。そのメカニズム、対策について報告されている⁵⁾。この停電により製鋼工場冷却装置が停止して、連続鋳造設備から火災となった。

突然の停電の結果としては、冷却施設の停止の他にも、操業中の工場の突然の停止、制御装置の不具合などが起こり、二次的に火災、爆発、漏洩、自然発火、分解などが起こることになる。

また、地震により、危険物施設のタンク、配管、装置、コンクリート隔壁などの破壊によっても漏洩、火災、爆発の被害を生じる。多くのプラントでは、地震の発生や警報によ

り、自動的に緊急シャットダウンとなり、原料供給の停止や、用役の停止による安全化処置を行うようになっている。ただ、全体的な破壊や余震により現場確認に危険を伴い、多数の不具合の同時発生による制御室における警報の多発など混乱をきたすことになる。

復旧や工場の再稼働が困難なことが地震による被害の特徴となる。巨大地震に対する危険物施設の防災対策⁶⁾やライフラインの停止による影響と対策が示されている⁷⁾。直下型地震と化学プラントについても解説がある⁸⁾。

(2) 風水害

・火災、爆発

2018年7月の豪雨で岡山の総社市のリサイクル工場でアルミニウム溶解炉に氾濫した川の水が入り、水蒸気爆発が起こった。工場従業員は避難して無事であったが、爆発により発生した爆風、破片の飛散により近くの住宅、商店では、負傷者や火災及び窓ガラスの破損の被害が出た。

金属リサイクル工場では、金属溶融炉に誤って水を含む原料を投入して工場建屋の天井、壁を破壊するほどの規模の水蒸気爆発を起こすことがあるが、その頻度は極めて低く、通常は突沸程度の軽微な事故である。水と溶融金属の混ざり方によって、爆発の規模、強さが大きく変化するために被害予測は難しい。その地域における石油コンビナートやタンク貯蔵所などについては、周辺の一般住宅とどのくらいの保安距離を取るべきかについて検討されて、ハザードマップなどに使われているが、今回のような大きな水蒸気爆発は今までに類似の事故報告がほとんどされていないほど大規模で強力で、その影響範囲の予測は難しい。

マグネシウムは高温の水と反応するが、火災に伴って高温になっていると水と激しく反応する。2018年9月の台風による高潮で海

図1 マグネシウムの自然発火



水により浸水したコンテナ内のマグネシウムの火災が発生した(図1)⁹⁾。海水とマグネシウムの接触による反応熱により自然発火したものと考えられる。

その他にも、禁水性物質である金属ナトリウムなどは、常温の水と接触すると炎を伴って激しく反応するので、事例は少ないが、洪水などによる水との接触を防ぐ保管方法が求められる。同様に他の禁水性物質やそれ以外の金属粉末も水との接触で自然発火、爆発することがある。

・塩害

台風によって運ばれてきた海水の飛沫が碍子の表面などに付着し、雨の水分によって食塩水になって、本来、絶縁されていなければならないところに高圧の電気が流れて放電火花が生じ火災となる。台風により風は強くて雨が少ないときには、塩分が付着しやすい条件となり、数日後の雨で塩分が溶けた際に多数の塩害をもたらすこともある。最近では、台風も年々勢力を増す傾向にあり、かなり内陸部でも電柱や電線への塩害対策が必要になる。プラント内でも付着した塩分を除去しないと、再稼働ができないことになる。

2018年10月に千葉県を台風24号が通過した数日後に、沿岸部で複数の電柱や電線から火花や異常音が発生して停電が起きた。千葉県御宿町でも約1,700戸が停電し、電車の運行に支障が出た。駅で送電線から出火して停

電し、電車が終日運休して翌日の朝までダイヤが乱れた。電力会社の調べでは、台風24号による強風の影響で電柱や電線に海水が吹き付けられ、雨に洗い流されずに残り、塩害が発生したとされている。

・車両火災

水に浸かった車両では感電や電気系統が水で濡れることによる短絡などにより車両火災があることは、過去の津波、高潮被害でよく見られているところである。最近、ハイブリッド車、電気自動車なども多く走ることになってきており、高電圧なので、火災と共に感電にも注意する必要がある。

・化学物質漏洩、拡散

洪水により、化学工場やメッキ工場などから石油、シアン化合物などが溢れて流失したりしている。直接的な被害が顕著でなくても、河川の汚染は農業用水、飲料水などの確保に問題が生じる。ヨーロッパで有害な物質を含む廃液をためた貯蔵池が決壊して、大量に川に流出して、農業などに大きな被害を生じた例もある。

・洪水による物理的被害

洪水によるバックアップ電源の停止により、冷却機能がなくなるなどする。燃料タンク、危険物容器、LPガス容器の流出も起こっている。2018年7月の豪雨の影響で岡山県と愛媛県では川の氾濫によりガス事業者の敷地などから空容器を含めた計約2,400本のボンベが流され、一部は海に流出した。約2,200本が回収されたが、未回収のLPガスボンベが、海上で船舶と衝突したり、土砂の中に埋まり復旧作業の重機が接触するなどの可能性があるため、各方面に注意が呼びかけられた。

・太陽光発電

各地に大規模太陽光発電所(メガソーラー)が設置されてきているが、2018年9月の台風21号によって、大阪府の沿岸などで「これまでにないタイプの太陽光パネルの損傷が

起きた」と経産省が報告した¹⁰⁾。

大阪市住之江区にある物流施設の屋根上に設置されていたメガソーラーでは、約半分の太陽光パネルが台風21号の強風により、損壊・飛散した。加えて、ガラス表面が破損した後、内部の樹脂部分が何らかの原因で発火し、消火器で対応したという。パネルのほか、ケーブルラック本体の倒壊、支持金具が近隣の建物にも飛散し、建物を損傷させた。原因は、台風による強風が設計風速を大幅に超過したと推定される。設計上の最大風速は34 m/sとなっているが、近隣の関西国際空港では最大瞬間風速60 m/s以上を記録していた。また、同じ大阪沿岸部の大阪市此花区の埋め立て地に稼働していたメガソーラーも、約4割近いパネルが台風21号の強風で破損した。

千葉県市原市の山倉ダムにある水上太陽光発電所も、2019年9月の台風15号により破壊して火災となった。この発電所はダムの水上に設置されたメガソーラーであるが、その構造は、太陽光パネルの周辺に浮き具を装着し、ワイヤーにより地中に打ち込んだ杭に固定してパネルが流されないようにしている。そこに設計風速41 m/sを超える風が発生したと、風や波によってパネルが揺れ動いて、かたよった荷重がかかったことで、杭が複数外れ発電パネルが破壊して、短絡により発火したと考えられている(図2、図3)¹¹⁾。

この他にも台風によるメガソーラーの破損事故も報告されているが、いずれも設計風速を越える強風による破損と考えられており、設計時に検討するべきであった。

・環境汚染

2019年10月の台風19号による降雨により、福島県田村市と飯舘村では東京電力福島第一原発事故後の除染で出た廃棄物を入れた袋の仮置き場2カ所から、袋が川に流出した。また、除染の困難な山間部の高濃度に汚染し

図2 メガソーラー



図3 メガソーラー火災



た山林などからも汚染した土砂が豪雨により河川、海に流されたと推定されている。

この他にも洪水によって、化学物質が流出することにより、人の健康、生態系への影響が懸念される。

(3) 豪雪

2018年2月には 福井地方が豪雪に見舞われ、交通が遮断され、燃料・物資供給に長期の大きな影響が出た。サプライチェーンの停止した工場では操業中止となった。

最近は暖冬の傾向が続いたためと、一度に大量に降雪があったため除雪などが間に合わなかったことによるものと考えられ、大きな被害となった。

4. ハリケーンによる化学工場の火災事故報告書

2017年9月にアメリカ テキサス州ハリス郡でハリケーン「ハービー」の影響により、107人が死亡。30万棟の建物と50万台の車両が被害を受け、7万2000人以上が避難を余儀なくされた。同郡によれば、郡内にある建物の約10%に当たる約136,000棟が浸水したという。

ヒューストン郊外にある化学工場がこのハリケーンにより9月1日に浸水し2日連続で火災が発生した。この災害とこの火災事故調査報

告がナテック災害の参考になるので紹介する。

同工場はプラスチックの合成などに利用する有機過酸化物を製造している。有機過酸化物は低温

で保管しなければならないが、大型ハリケーンの上陸と停滞で前例のない記録的な豪雨となって、工場全体が浸水被害となり、工場は緊急シャットダウンしてハリケーンに備えた。有機過酸化物の低温倉庫での一時保管と配送をしていた工場は、異常降雨による水位上昇により、低温貯蔵庫の冷却施設が機能しなくなり、地上にあったバックアップ電源も浸水して機能を失い、最後の手段として有機過酸化物容器を冷却トレーラ9台に移し替えて高台へ移動した。現場に残された冷却不能のトレーラ3台の中の1台から出火し残りも火災となった。移動した6台も米環境保護局などの指導により、安全のために計画的に燃焼させることにした（全焼却量は159t以上）。会社はハリケーンが接近してくるなか、従業員や周囲約2.4 km 以内の住民を避難させていた。

テキサス州南部からルイジアナ州にかけて多数の化学工場が操業を停止しており、化学品やプラスチックの一部は米国生産の半分以上がストップしている。多くの製油所やプラントは、このハリケーンのためシャットダウンしたが、それでも多くの化学物質が流出した。住民は臭いを報告し、頭痛、咽頭痛、喉の痛み、かゆみを伴っていたと語った。

アメリカ政府はこのナテック災害は重大なものとして、調査を政府の化学安全委員会（CSB：Chemical Safety Board）に依頼し、その報告書¹²⁾は、約10カ月間にわたり検討されて作成された。報告書の半分近くのページは

洪水のリスクについて、対策、法律上の問題点、行政各機関の対処の問題点、避難範囲、まとめと提言などからなっている。CSBは、報告書の中で洪水リスクや対応について、欧米の状況や規制の調査も実施して報告している。福島原発事故も世界の中の水災事故として紹介されている。

今回の事故では、洪水予測マップが提供されているが、洪水リスクが、最近の異常気象や気象変動に対処していないと指摘している。化学工場のプロセス安全に関連する指導については、一般的事項に留まっていた有効ではなかったと指摘された。異常気象や洪水を対象とした安全防護措置や機器の機能不全の特定などの異常気象のあらゆるリスク評価を支援する指導の整備が要請された。

気候が温暖化した結果、洪水の危険が増したために、ハリケーンによる火災、爆発、有害物質の流出が起こる危険性が増しているにもかかわらず、有害化学物質を扱う2,500以上の施設が、洪水の多い地域にある。過去には、運輸や冷却水などの工業用水として整った河川や海岸に近いことが産業へのメリットであった。洪水の形態が変化したり拡大したりするにつれて、洪水に脆弱な地域に化学拠点が存在することは、高いリスクとなっており、立地条件の見直しや、工場の設計に考慮する必要性が生じているとされている。

5. まとめと今後の備え

台風や前線による豪雨などによる水災は、地震と異なりある程度予測可能な災害と言える。台風は発生してから、日本に近づくまで時間があり、前線による豪雨についても気象庁から数日前から予報が公表される。

このため、工場での操業の調整や場合によっては停止も考慮することや、当日の出勤体制、排水ポンプなどの設置、浸水対策など

ある程度の対策を取ることや、検討しておくことが可能である。

(1) 情報収集

気象庁の発表やネット情報を随時確認し、台風であれば規模、進路予報、風速、降水量をあらかじめ知ることができるので、事前対応を検討可能である。気象観測結果や、予測を立てて、アドバイスをする会社もある¹³⁾。こうしたサービスを導入することにより、局所的な集中豪雨、洪水の被害範囲など予知して対応することは可能である。

(2) 防災計画

自然災害が予知できるのであれば、災害についての対策を検討することになる。比較的短時間に判断を求められるので、防災計画を常に検討して、様々な対策やそのための準備をしておく必要がある。定期的な訓練や、対策設備のメンテナンス、操作方法の確認なども常にしておくことも重要である。

参考文献

- 1) 岸本充生：Natech（自然災害起因の産業事故）リスクの評価と管理，安全工学，53（4），214-219，2014.
- 2) 熊崎美枝子：Natech リスクに関する研究の現状，安全工学，58（4），230-235，2019.
- 3) 国立国会図書館：福島第一原発事故と4つの事故調査委員会，調査と情報，756，2012.
- 4) 近藤洋輝：地球温暖化：最新の科学的知見，セイフティエンジニアリング，43，182，4-9，2016.
- 5) 大山力：北海道ブラックアウトと電力セキュリティ対策，セイフティエンジニアリング，46，196，4-9，2019.
- 6) 座間信作：巨大地震に対する危険物施設の防災対策，セイフティエンジニアリング，41，176，10-15，2014.
- 7) 佐土原聡：ライフラインシステム停止の影響と対策の方向性，セイフティエンジニアリング，41，174，49，2014.
- 8) 新井充：直下型地震と化学プラント，セイフティエンジニアリング，40，170，16-21，2013.
- 9) 神戸市資料提供：六甲アイランドコンテナ火災の鎮火について，2018.
- 10) 経済産業省・産業保安グループ・電力安全課資料，2018.
- 11) 経済産業省産業構造審議会保安・消費生活用製品安全分科会電力安全小委員会資料：千葉・山倉水上メガソーラー発電所 太陽電池破損事故，2019.
- 12) CSB：Organic peroxide decomposition, release, and fire at Arkema Crosby following Hurricane Harvey flooding, 2018.
- 13) 山口悟史：河川の洪水氾濫と企業の水災対策について，セイフティエンジニアリング，43，182，10-15，2016.

なかむらしゅ

東京都立大学大学院修士課程修了。警察庁科学警察研究所爆発研究室に入所。爆発事故の原因調査、爆発物の威力、分析、探知などに従事。爆発研究室長、研究部長を経て定年退職後、2011年から現職。