

# 降灰による影響の想定の方 え方 (ライフライン／建物・設備分野) (案)

平成31年3月22日

大規模噴火時の広域降灰対策検討ワーキンググループ

# ①電力

## 1. 想定される影響

①送配電網(変電所含む)への影響

I. 碍子の絶縁低下による影響 [定量]

II. 送配電線の切断による影響 [定性]

②発電所への影響

I. タービン等の摩耗等による影響

II. 吸気系の機能低下による影響

III. 太陽光パネルへの堆積による影響

③分電盤等の設備または電源ケーブル等への影響

【定性】

## 2. 過去の噴火における被害事例等

### ①送配電網(変電所含む)への影響

| 降灰厚さ                          | 発生した主な事象(数字:降灰厚さcm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                |                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                               | 降灰(降灰中)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 積灰(降灰中～降灰終了後)                  | 人為的な判断による影響                                                                                                                                                                                                                         |
| 10cm以上                        | ●14 電線のフラッシュオーバー(フジエ・コルトン・カウジ2011)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | ●90 樹木や家屋の倒壊により電線の断線(ラハウル1994) | ●30 変電所の除灰(ハカヤ2010)                                                                                                                                                                                                                 |
| 5cm前後<br>10cm<br>～            | ●34 変電所でのフラッシュオーバー、発電機(ディーゼル)が遮断(フジエ・コルトン・カウジ2011)<br>●3 変電所でのフラッシュオーバー(ハカヤ2010)<br>●43 電線のフラッシュオーバー(ハカヤ2010)<br>●34 電線のフラッシュオーバー(フジエ・コルトン・カウジ2011)<br>●3 電線のフラッシュオーバー(ハカヤ2010、チャイテン2008、ルアペ1995-96)<br>●28 電線のフラッシュオーバー(チャイテン2008)                                                                                                                                                   |                                | ●8-7 送配電系統の除灰(新燃岳2011)<br>●7 変電所の除灰(新燃岳2011)<br>●5 一部施設の送電停止(ルアペ1995-96)<br>●3.3 送配電系統の除灰(チャイテン2008)<br>●2.7 変電所の除灰(チャイテン2008)<br>●2 一部施設の送電停止(チャイテン2008)                                                                           |
| 1cm前後<br>2cm<br>～<br>0.3cm    | ●2 変電所でのフラッシュオーバー(ハカヤ2010)<br>●1.8-2 泥灰が電柱碍子に粘着し、島内1600戸が6時間停電(桜島1979)<br>●1.3 5つのトランスが故障し、2本の電柱が火災を起こした。停電は発生したが短時間(セントヘレンズ1980)<br>●1.2-0.6 電線のフラッシュオーバー(セントヘレンズ1980)<br>●0.9 電線の断線(セントヘレンズ1980)<br>●0.6 変電設備への火山礫混入(セントヘレンズ1980)<br>●0.6 雨丈じりの降灰で碍子発火、停電(リダウト1989)<br>●0.3 溜った火山灰の付着により碍子が発火して停電(ルアペ1995-96)<br>●0.3程度 平成28年(2016)の爆発的な噴火で阿蘇市を中心に多量の降灰があり、一時約27,000戸が停電した(阿蘇山2016) |                                | ●1.3 碍子やワイヤーの灰を取り除き、電柱をたたき、できるだけ多くの灰を払い落とすため、圧縮空気を吹き付けて残りの灰を取り除いた。(セントヘレンズ1980)<br>●0.6 変電所で変圧器の碍子やスイッチパネルに積もった灰を除去する際の送電停止による停電。(セントヘレンズ1980)<br>●0.6 変電所の除灰(リダウト1989-90)<br>●0.5 一部施設の送電停止(ルアペ1995-96)<br>●0.3 変電所の除灰(ルアペ1995-96) |
| 1mm前後<br>0.3cm<br>～<br>0.05cm | ●0.1 平成2年(1990)の爆発的な噴火で一の宮町を中心に多量の降灰があり、約3700戸が停電した。溜った火山灰が柱上トランスなどに付着してショートしたため。停電の原因発生地域は、火山灰が約1mmの厚さに堆積した地域と一致(阿蘇山1990)                                                                                                                                                                                                                                                            |                                | ●0.2-0.1 送配電系統の除灰(トングラフ1999-2010)                                                                                                                                                                                                   |
| 0.5mm以下                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                |                                                                                                                                                                                                                                     |

### ②発電所への影響

| 降灰厚さ                          | 発生した主な事象(数字:降灰厚さcm)                                                                       |               |                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                               | 降灰(降灰中)                                                                                   | 積灰(降灰中～降灰終了後) | 人為的な判断による影響                                                                                                                                                       |
| 10cm以上                        |                                                                                           |               | ●30 一部施設の発電停止、発電所の除灰(ハカヤ2010)                                                                                                                                     |
| 5cm前後<br>10cm<br>～<br>2cm     | ●34 発電機(ディーゼル)の空気取り入れが目詰まり(フジエ・コルトン・カウジ2011)                                              |               | ●8 一部施設の送電停止(新燃岳2011)<br>●7.5 機械に積もった灰を取り除くため、ワシントン水力発電の顧客200軒への電力供給が6～8時間停電(セントヘレンズ1980)<br>●2.7 発電所の除灰(チャイテン2008)                                               |
| 1cm前後<br>2cm<br>～<br>0.3cm    | ●1.3 発電所でのフラッシュオーバー(チャイテン2008)<br>●1 一部施設の発電停止(トングラフ1999-2010)<br>●0.8 一部施設の発電停止(新燃岳2011) |               | ●1 一部施設の発電停止(トングラフ1999-2010)<br>●0.8 一部施設の発電停止(新燃岳2011)<br>●0.6 発電所の除灰(新燃岳2011)<br>●0.6 発電所に影響なし(リダウト1989-90)<br>●0.53 発電所の除灰(新燃岳2011)<br>●0.5 一部施設の発電停止(ルアペ1995) |
| 1mm前後<br>0.3cm<br>～<br>0.05cm |                                                                                           |               |                                                                                                                                                                   |
| 0.5mm以下                       |                                                                                           |               |                                                                                                                                                                   |

※ 日本においては降灰時に大規模な供給支障を引き起こした例はない(経済産業省調べ)。

【降灰中～降灰終了後に発生し、降灰の厚さとともに発現が増える被害】

・碍子の絶縁低下による停電の発生

・送配電線の切断による影響

・太陽光発電の発電量低下による影響

【同じ程度の降灰の厚さでも発生の有無が異なる被害】

・乾燥した火山灰は絶縁性が高いため漏電等が発生しにくい。

・火山礫では粒径が大きく電線等に付着しないため発生しにくい。

【事例が少なく、降灰の厚さ等との関係が不明な被害】

・分電盤等の設備または電源ケーブル等への影響

・水力発電所のタービン等の摩耗等による影響

・火力発電所の吸気系の機能低下による影響

# ①電力

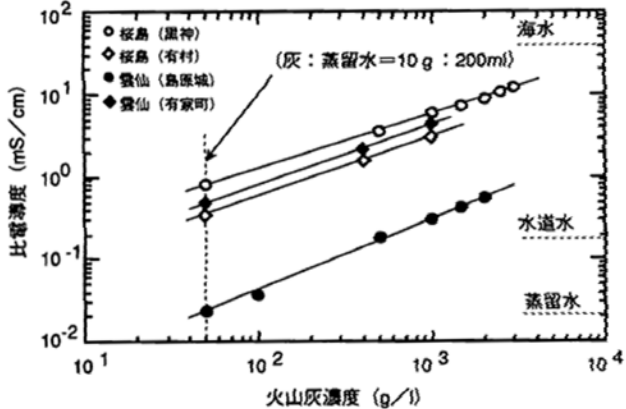
## 3. 影響の条件の考え方(案)

### (1) 碍子の絶縁低下による影響

Wilson et al.(2012)は、碍子の絶縁性の低下の発生に関し、送配電網の電圧、火山灰等の粒径と降灰の厚さ、湿潤状態について影響度を調査した。その結果、碍子の絶縁性の低下は湿潤状態でのみ発生し、0.0063cm未満の細粒火山灰では降灰の厚さによらず影響が大きい一方、0.0063cm以上の粗粒火山灰では降灰の厚さが0.5cm以上になると被害の発生は高まるが細粒火山灰よりは低い、としている。

| Risk factors               |                      | Probability of failure |            |                      |            |
|----------------------------|----------------------|------------------------|------------|----------------------|------------|
| Line voltage               | Ash moisture content | Ash thickness < 5 mm   |            | Ash thickness > 5 mm |            |
|                            |                      | Fine ash               | Coarse ash | Fine ash             | Coarse ash |
| <33 kV (domestic)          | Wet                  | High                   | Low        | High                 | Medium     |
|                            | Dry                  | Low                    | Low        | Low                  | Low        |
| >33 kV (regional-national) | Wet                  | Medium                 | Low        | High                 | Medium     |
|                            | Dry                  | Low                    | Low        | Low                  | Low        |

- 電気設備自然災害等対策ワーキンググループ中間報告書(2014)では、17万V以上の基幹送変電設備について、著しい供給支障には至らないとしている。
- Wardman et al.(2012)は、碍子への火山灰等の付着については、碍子の形状や設置形態に依存するが、粒径が2mm以上の火山礫は付着しにくい、としている。
- 土志田・他(2015)は、碍子の個数を増やし絶縁経路を延ばす等の耐塩対策を施した箇所では、碍子の絶縁性の低下は発生しにくい、としている。
- 川畑・他(1995)の、火山灰を入れた蒸留水の比電導度の測定によると、火山灰の量が増える、もしくは、水分量が少ないと、比電導度は上昇している。この結果から、碍子の絶縁性の低下は、霧雨等の弱い雨の時に発生しやすい、と述べている。
- 阿蘇山の2016年の噴火では、0.3cm程度の降灰で停電が発生している。



火山灰濃度と比電導度の関係  
(川畑・他, 1995)

- 1991年に広島地域で発生した塩害による大規模停電では、台風19号により塩分がもたらされた広島市内において62%(約24万戸)で停電が発生している(目黒・他, 1992)。

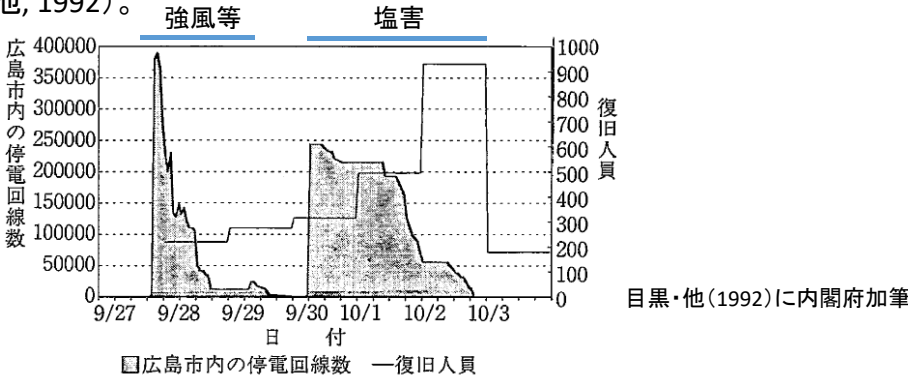


図3 広島営業所管内の停電戸数と復旧人員の時間変化  
(中国電力提供の資料より)

- ⇒降灰の厚さが0.3cm以上の範囲で、湿った火山灰が、配電線の碍子に付着して絶縁性能が低下し、碍子で閃絡が発生して配電が止まり、地域内の約6割の範囲で停電が発生すると想定する。
- ⇒乾湿と粒径、施設の設備により以下の条件を付加する。
  - 【必要要件: 降雨】
  - 【除外要件: 粒径が火山礫の範囲、耐塩対策済みの地域、地下・屋内設備】

### (2) 送配電線の切断による影響

- 送配電線の切断は、周囲の樹木等の倒壊により発生している。
- 有珠山1977年噴火では、降灰の厚さが5cm程度以上で樹木の倒伏や折損が発生した。
- 粒径が大きい礫については樹木へ付着しにくいため、倒木は発生しないと考えられる。
- ⇒倒木が発生しやすくなる降灰の厚さが5cm以上の範囲では、降雨時に倒木によって送配電線が切断され、停電が発生する可能性がある。
  - 【必要要件: 降雨】
  - 【除外要件: 粒径が火山礫の範囲】

# ①電 力

## 3. 影響の条件の考え方(案)つづき

### (3) 発電所への影響

#### ①タービン等の摩耗等による影響

- ・1995年～1996年のニュージーランド・ルアペフ山の噴火では、ワイカト川に火山灰が流入し、ランギポ水力発電所では、噴火から7ヶ月後の定期点検において、タービン羽根が約15年以上を経過した使用状態と同じ程度の摩耗が発生した (Wilson et al., 2012)。また、1999年からのエクアドル・ツングラハの噴火でもアゴヤン水力発電所のタービン羽根の摩耗が発生した。これらの水力発電所では、噴火中に発電の停止は発生していないが、点検後にタービン羽根を交換することになった。

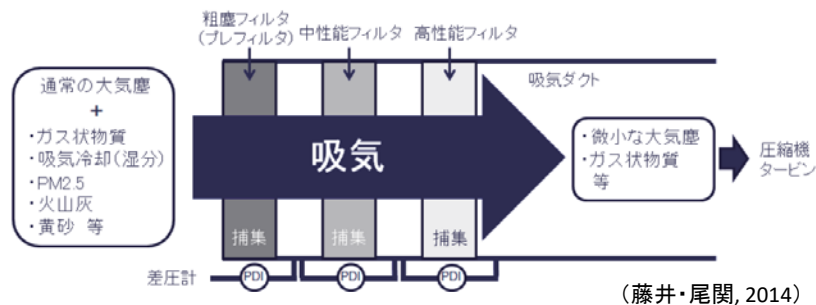
⇒水力発電所のタービン羽根が火山灰の影響で摩耗し、タービン羽根の交換頻度が増える可能性がある。

#### ②吸気系の機能低下による影響

- ・火力発電所では、大気塵等が圧縮機タービンに到達しないよう、吸気フィルターを通してている。
- ・大量の火山灰により、通常のフィルター交換頻度より早く、フィルターの交換が必要となる可能性がある。
- ・電気設備自然災害等対策ワーキンググループ中間報告書(2014)によると、降灰厚2cm程度の箇所では約10日毎(平均)に取替が必要と想定されている(フィルターの取り替えには、数日程度/ユニット)。また、フィルターの延命化のための発電出力の抑制または停止措置等による影響例として、2～3割程度の供給力低下が想定されている。

⇒ 吸気フィルターの延命化・交換頻度の増により、供給力が低下する可能性がある。降灰厚が6cmを超える地域では、フィルターの交換頻度増によりほとんど稼働できない可能性がある。

【除外要件: 粒径が火山礫の範囲】

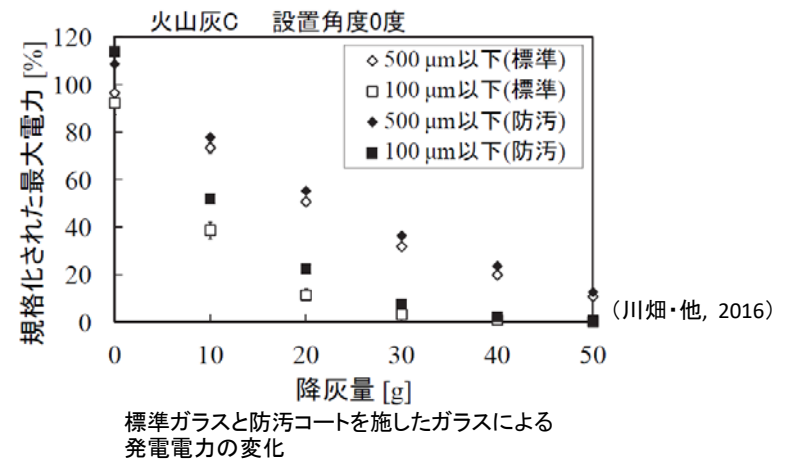
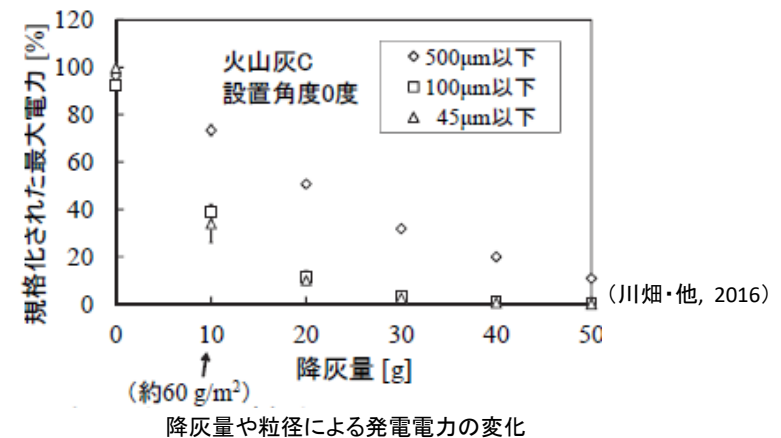


#### ③太陽光発電パネルへの堆積による発電量の減少

- ・川畑・他(2016)は、火山灰による太陽電池モジュールの発電量低下特性について、降灰量と発電量低下の関係等の実験を実施。その結果、降灰量が50g/m<sup>2</sup>(降灰の厚さが概ね0.005cm)で発電電力が半減し、300g/m<sup>2</sup>(降灰の厚さが概ね0.03cm)で発電量がほぼゼロとなった。また、単位面積あたりの降灰量が同じでも、火山灰の粒径が細かくなると発電電力の低下率が大きくなる。

⇒降灰の厚さが0.03cm以上の範囲では、太陽光発電量がゼロとなると想定。

【除外要件: 太陽光発電パネルの角度を30°以上としている設備】



# ①電 力

## 4. 想定する影響の条件(案)

○本WGの想定で用いる条件は以下のとおりとする。

### (1) 停電が発生する地域

(碍子の絶縁性低下(配電設備))

降雨条件下で、降灰の厚さ0.3cm以上の地域の6割

【除外要件: 火山灰の粒径2mm以上。塩害対策が実施されている地域※、  
地下・屋内の設備】

碍子の清掃を行うまでの間、継続

(倒木による送電線の切断) [定性]

降雨条件下で、降灰の厚さ5cm以上の地域で発生の可能性

【除外要件: 火山灰の粒径2mm以上】

倒木の除去・切断された送電線の復旧を行うまでの間、継続

### (2) 発電量が低下する発電所[定性]

水力発電: 水力発電所のタービン羽根が火山灰の影響で摩耗し、タービン羽根の交換頻度が増える可能性がある。

火力発電: 吸気フィルターの延命化・交換頻度の増により、供給力が低下する可能性がある。降灰厚が6cmを超える地域では、フィルターの交換頻度増によりほとんど稼働できない可能性がある。

【除外要件: 中央粒径が火山礫の範囲】

太陽光発電: 降灰の厚さが0.03cm以上の範囲では、太陽光発電量がゼロとなると想定。

【除外要件: 太陽光発電パネルの角度を30°以上としている設備】

※ 沿岸から1~4kmの地域では、配電設備に対して塩害対策が実施されていると仮定する。

### <配電設備の耐塩対策の地域区分>

「耐塩対策を特に実施していない「一般地域(地区)」は、大半の電力がESDD0.06mg/cm<sup>2</sup>以下としており、海岸からの距離で1~4km超過する地域を設定している。耐塩対策を実施する「塩害地域」は、汀線からの距離を基本として過去の被害も勘案して、「重塩害、強塩害」、「軽塩害、弱塩害」に分類している電力会社が多いが、1社を除き、ESDDは0.35mg/cm<sup>2</sup>以下としている」(電気協同研究会, 2013)。

\*ESDD: 等価塩分付着密度(mg/cm<sup>2</sup>)

### ○他の分野の影響

・道路が通行不能の間、碍子の清掃等の復旧作業が長時間に及ぶ。



# ①電力

(参考) 各インフラの機能と構成要素を示すインフルエンス・ダイアグラムの例

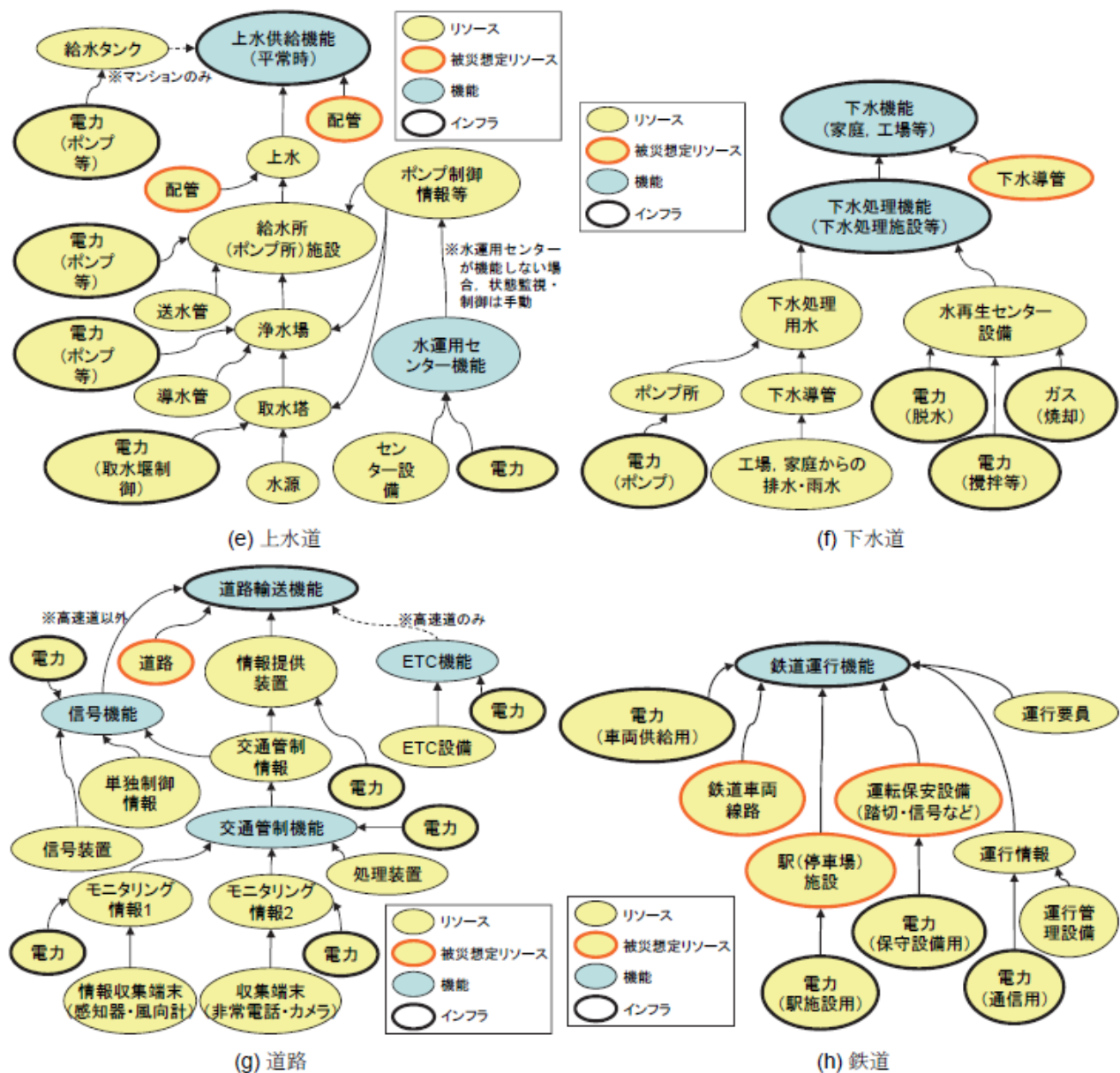


図-1 インフラ機能と構成要素の関係を示すインフルエンス・ダイアグラム(3/3)

片岡・他(2013)より

# ②上水道

## 1. 想定される影響

- ・濁度の増加
  - ・ろ過池の機能低下

}

[定量]供給停止が発生する浄水場数
- ・化学成分による水質の悪化
  - ・機器等への影響
  - ・水需要の増加による水不足

## 2. 過去の噴火における被害事例等

| 降灰厚さ                          | 発生した主な事象(数字:降灰厚さcm)                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 火山灰の状況                        | 降灰(降灰中)                                                                                                                                                                       | 積灰(降灰中～降灰終了後)                                                                                                                                                                                                                                                | 人為的な判断による影響                                                                                                                                                                              |
| 10cm以上                        | ●10 上水道被害(水質悪化)(ヘクラ1947)                                                                                                                                                      | ●14 上水道被害(フィルター閉塞、摩耗)(プジェウエ・コルトン・カウジェ2011)                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                          |
| 5cm前後<br>10cm<br>～<br>2cm     | ●5 上水道被害(水質悪化、給水被害)(チャイテン2008)<br>●5 上水道被害(濁度増加)(セントヘレンス <sup>*</sup> 1980)<br>●4 上水道被害(濁度増加)(ハト <sup>*</sup> ソン1991)<br>●3 上水道被害(濁度増加)(ハカヤ2010)<br>●3 上水道被害(水質悪化)(チャイテン2008) | ●7.5 上水道被害(水路満水)(ハト <sup>*</sup> ソン1991)<br>●5 上水道被害(摩耗)。(ハト <sup>*</sup> ソン1991)<br>●4 上水道被害(フィルター閉塞、摩耗)(プジェウエ・コルトン・カウジェ2011)<br>●4 カピアウエ湖周辺に3～5cmの降灰が生じ、湖のpHが2.1まで低下(コバ <sup>*</sup> ウエ2000)<br>●3 上水道被害(タンク内に灰が堆積、摩耗)(ハカヤ2010)<br>●3 上水道被害(摩耗)(チャイテン2008) |                                                                                                                                                                                          |
| 1cm前後<br>2cm<br>～<br>0.3cm    | ●0.6 上水道の水質低下(pH減少)(セントヘレンス <sup>*</sup> 1980)<br>●0.6 上水道被害(水質悪化)(ルア <sup>*</sup> フ1996)<br>●0.3 上水道被害(濁度増加、水質悪化)(スパ <sup>*</sup> ー1992)                                     | ●1 上水道浄水場に約1センチの降灰。火山灰がろ過用の砂に付着し目詰まり、ろ過ができなくなった。全戸2,000 戸の給水がストップした。急速ろ過装置でなく、旧式の砂でろ過する緩速ろ過装置のため、微粒子状の火山灰で目詰まりを起こした。(有珠山1978)                                                                                                                                | ●0.9 5集落の簡易水道が降灰の濁水により断水し74戸が影響。11/3頃より取水再開、長野県による降灰調査では 鹿の瀬川上流(火口から6.5km)で9mmの降灰が確認。(御嶽山1979)<br>●0.4 上水道被害(給水減少)(セントヘレンス <sup>*</sup> 1980)<br>●0.3 上水道被害(給水停止)(スパ <sup>*</sup> ー1992) |
| 1mm前後<br>0.3cm<br>～<br>0.05cm | ●0.2 上水道被害(濁度増加)(トンガ <sup>*</sup> リロ2012、セントヘレンス <sup>*</sup> 1980)<br>●0.1 上水道被害(水質悪化)(ヘクラ1947、ルア <sup>*</sup> フ1996)                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                              | ●0.2 上水道被害(給水停止)(トンガ <sup>*</sup> リロ2012)                                                                                                                                                |
| 0.5mm以下                       |                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                          |

- 【降灰中～降灰終了後に発生し、降灰の厚さ等とともに発現が増える被害】
- ・ろ過材の目詰まり
  - ・濁度の上昇
- 【同じ程度の降灰の厚さでも発生の有無が異なる被害】
- ・化学成分による水質の悪化
- 【事例が少なく、降灰の厚さ等との関係が不明な被害】
- ・機器等への影響

# ②上水道

## 3. 影響の条件の考え方(案)

### (1)濁度の増加による浄水場の機能停止

- ・ 浄水施設では、一般に、取水点の原水濁度が管理基準を超えると取水が停止される。
- ・ 急速ろ過方式は、原水中の有機物の多寡や施設状況にもよるが、濁度500～1,000度を超える原水濁度にも対応できる処理方法とされている(水道技術研究センター, 2014)。緩速ろ過式は濁度が低く安定している(濁度10度以下)場合に採用されるとされている。
- ・ トンガリロ(2012)、セントヘレンズ(1980)の事例では2mm程度の降灰の厚さで濁度が上昇。スパー(1992)の事例では、約3mmの降灰があった市で濁度が0.5-0.6NTUから噴火の翌朝に45NTUまで急激に上昇、予防的に約30時間プラントが停止された(Wilson et al., 2012)。
- ・ 御嶽山(2014)の噴火後、集水域に降灰域を含む木曾川水系の牧尾ダムでは約2か月間にわたって数千度の高濁度水となっていた(小野島ほか, 2016)。水道用水の取水を行う下流の落合取水口の濁度は、台風の降雨後に最大約250度に上昇した(中部地方整備局, 2014)。
- ・ 一時的に取水を停止しても、配水池の貯水量で賄える間は給水が行われる。また、1つの浄水場が機能停止しても、近隣の浄水場からのバックアップが可能な場合には給水がされる。

⇒ 緩速ろ過方式の浄水場では、濁度の上昇がみられる降灰の厚さ2mm以上のエリアにある浄水場で、降灰が終了するまで、浄水場の機能が停止すると想定する。

また、降灰終了後も、降雨後には、濁度の上昇の影響を受ける可能性がある。  
【除外要件】地下水から取水しており、覆蓋等により浄水過程に直接降灰のない浄水場

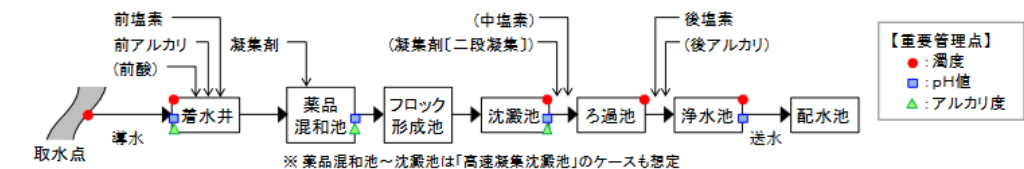


図 1 想定した浄水フロー (水道技術研究センター, 2014)

### (2)ろ過池の機能低下による浄水場の機能停止

- ・ 有珠山(1978年)では、約1cmの降灰があった上水道浄水場で、細かい火山灰が緩速ろ過装置のろ過用の砂に付着して目詰り状態になり、ろ過ができなくなった。この影響で給水地区の全戸(約2,000戸)の給水がストップした。
  - ・ 鹿児島市では、ろ過池に覆蓋を設置後、供給停止等の影響は生じていない。また、水道設備指針でも、火山灰対策として覆蓋の設置が推奨されている。
- ⇒ 緩速ろ過方式の浄水場は、事例から降灰の厚さ1cm以上の範囲にあるものが機能しないと仮定する。

【除外要件】覆蓋等により浄水過程に直接降灰のない浄水場

### (3)水質の悪化 [定性]

- ・ 火山灰に付着している火山ガスにより、大量の火山灰が原水に混ざると、pHの低下やFeやMnなどの重金属元素の溶出等により、水質が悪化する可能性がある。
- ・ コルドン・カウジェ(2011)の事例では、アルゼンチンの約150～200 mmの降灰があったAngosturaの町の調査で、pHの6.1への低下と、Ca、K、MgおよびSiのわずかな増加があったのみであった(アメリカ地質調査所HP)。チャイテン(2008)の噴火やスパー(1992)の噴火の際には、火山灰が混入した原水のpHは変化なかった(Wilson et al., 2012)。

⇒ 原水の水質が悪化し、上水が飲用に適さなくなる可能性がある。

浄水方法別の浄水量の推移(上水道+用水供給事業)



(日本水道協会ホームページ, 日本の上水道の現状)



## ②上水道

### 4. 想定する影響の条件(案)

○本WGの想定で用いる条件は以下のとおりとする。

#### (1) 供給停止が発生する浄水場

(濁度の上昇)

緩速ろ過方式の浄水場では、濁度の上昇がみられる降灰の厚さ2mm以上のエリアにある浄水場で、降灰が終了するまで、浄水場の機能が停止すると想定する。

【除外要件】地下水から取水しており、覆蓋等により浄水過程に直接降灰のない浄水場

また、降灰終了後も、降雨後には、濁度の上昇の影響を受ける可能性がある[定性]。

(ろ過地の機能低下)

緩速ろ過方式の浄水場は、降灰の厚さ1cm以上の範囲にあるものが機能しないと仮定する。

【除外要件】覆蓋等により浄水過程に直接降灰のない浄水場

#### (2) 水質の悪化 [定性]

- ・大量の火山灰が原水に混ざると、pHの低下や、鉄やマンガンなどの重金属元素の溶出等により、原水の水質が悪化し、飲用に適さなくなる可能性がある。

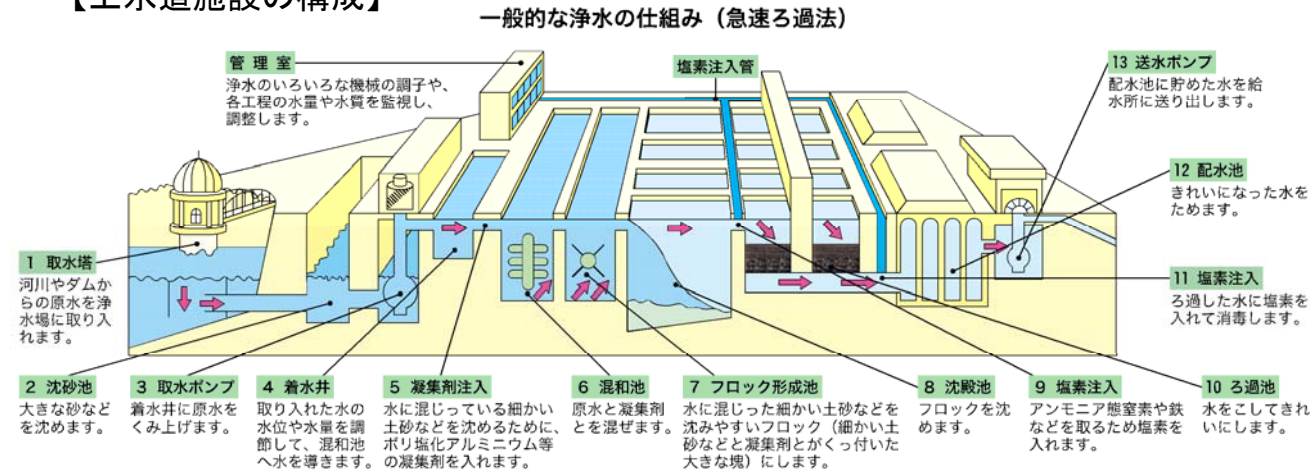
#### ○他分野の影響

- ・停電エリアでは、浄水場及び配水施設(ポンプ)等の運転停止(自家発電設備を有する場合を除く)。
- ・道路が途絶すると、凝集剤等の薬剤の不足により運転停止の可能性がある。
- ・火山灰の清掃等により水の需要が増加する可能性がある。

# ②上水道

## (参考)上水道施設の構成等

### 【上水道施設の構成】



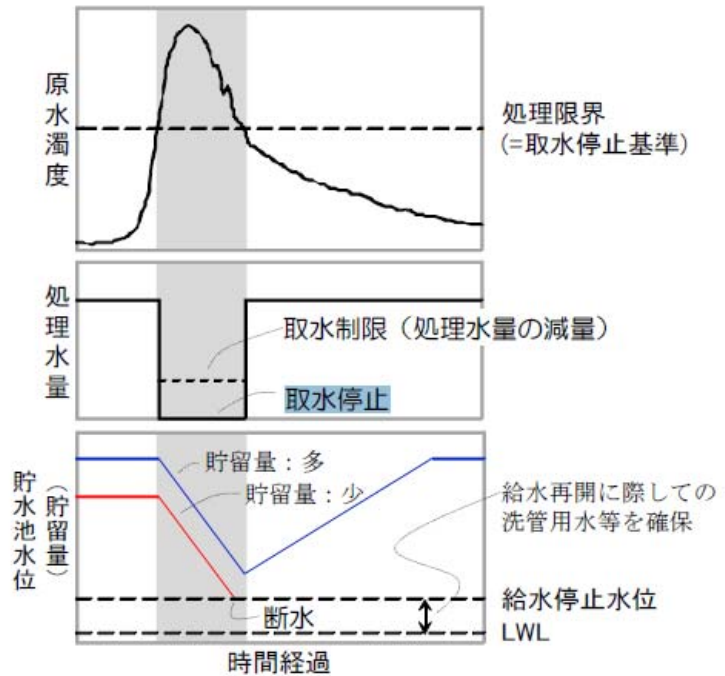
覆いのない施設の場合、火山灰による影響を受けやすい。（東京都水道局、東京の水道）

### 浄水場のろ過系統の例（神奈川県 谷ヶ原浄水場）



（神奈川県ホームページ、谷ヶ原浄水場）

### 濁度による取水停止イメージ



ろ過池をはじめとする浄水施設の汚染等により長期間断水することを防ぐため、降灰により原水が各浄水施設が定める濁度の取水停止基準を上回った場合、取水を停止する。（水道技術研究センター、2014）

### 緩速ろ過

一日に4～5mという緩やかな速度でろ過池の砂層に水を通し、砂層の表層部に繁殖している微生物（生物ろ過膜）の浄化作用による浄水方法。比較的水質が良好で、水質の変化が少ない水の処理に適している。生物ろ過膜が目詰まりするため、20～40日に一度、生物ろ過池の砂層表面を1cmほど削り取る作業が必要になる。

### 急速ろ過

水中の小さな濁りや細菌類などを薬品で凝集、沈殿させた後の上澄みを、一日に120m～150mという速度でろ過池の砂層に通す浄水方法。狭い敷地でも多量の水を処理でき、濁度などの水質が大きく変化する場合でも、薬品の量を調節することで対応しやすい。

# ③下水道

## 1. 想定される影響

○下水道管路の被害

・下水道管路のつまり

○下水処理場、ポンプ場等の被害

・沈澱池の満砂

・ろ過材の目詰まり

・ばっ気槽の能力低下

・ポンプの羽根車等の磨耗損傷

・污泥処理施設への影響(送泥ポンプの過負荷など)

・機器等(発電機、受変電設備、屋外設置の制御盤等)への影響

・化学成分による水質の悪化

[定性]

## 2. 過去の噴火における被害事例等

| 降灰厚さ                          | 発生した主な事象(数字:降灰厚さcm) |                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                     |
|-------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 火山灰の状況                        | 降灰(降灰中)             | 積灰(降灰中～降灰終了後)                                                                                                                                                                       | 人為的な判断による影響                                                                                                                         |
| 10cm以上                        |                     |                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                     |
| 5cm前後<br>10cm<br>～<br>2cm     |                     | <div><div>●5 下水道被害(管路閉塞、摩耗)(セントヘンズ'1980)</div><div>●4 下水道被害(タンク内に堆積)(ブジェウ・コルトン・カウジェ2011)</div><div>●3 下水道被害(タンク内に堆積、摩耗、管路閉塞)(バカヤ2010)</div><div>●3 下水道被害(管路閉塞)(レベン外'02)</div></div> | <div><div>●4 下水道被害(復旧混乱)(ブジェウ・コルトン・カウジェ2011)</div><div>●3 下水道被害(復旧混乱)(レベン外'02)</div></div>                                          |
| 1cm前後<br>2cm<br>～<br>0.3cm    |                     | <div><div>●0.6 汚水処理プラントへ道路から洗い流された大量の灰が流入。雨水管渠、水路、集水溝における過負荷(セントヘンズ'1980)</div><div>●0.3 大量の火山灰が雨水処理システムに流入し固着、下水管が詰まって雨水の溢れがいくつか発生(スパー'1992)</div></div>                           | <div><div>●0.6 汚水処理プラントへ道路から洗い流された大量の灰が流入。雨水管渠、水路、集水溝における過負荷。高圧ジェット水流による下水クリーナーや真空集水溝クリーナーを利用して下水が詰まるのを防いだ(セントヘンズ'1980)</div></div> |
| 1mm前後<br>0.3cm<br>～<br>0.05cm |                     | <div><div>●0.4 下水道被害(管路閉塞、摩耗)(レベン外'02)</div><div>●0.3 下水道被害(管路閉塞)(スパー'1992)</div><div>●0.2 噴火しばらく後、市の施設(ホール、交流プラザ等)で降灰の影響による下水溢れが発生。(新燃岳2011)</div></div>                           |                                                                                                                                     |
| 0.5mm以下                       |                     |                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                     |

【降灰中に発生し、降灰の厚さ等とともに発現が増える被害】

【降灰中～降灰終了後に発生し、降灰の厚さ等とともに発現が増える被害】

- ・ 積灰した火山灰が降雨や水を使った清掃により側溝や下水道に流されることによる下水管内での堆積

【同じ程度の降灰の厚さでも発生の有無が異なる被害】

- ・ 湿潤後に固結しやすい石膏成分が火山灰に付着している場合

【事例が少なく、降灰の厚さ等との関係が不明な被害】

- ・ 火山灰の固結

# ③下水道

## 3. 想定する影響の条件(案)

○本WGの想定で用いる条件は以下のとおりとする。

### (1) 下水道管路等排水施設の被害[定性]

- ・大雨時など、土砂を含んだ大量の雨水が下水道管路に流れ込むことで、管路が閉塞する場合がある。同様に、堆積した火山灰が降雨や水を使った清掃により側溝や下水道に大量に流されると、管路の閉塞が発生する可能性がある。
- ・排水施設の管渠系統には、汚水と雨水を別々に処理する分流式と、汚水と雨水を一緒に処理する合流式があるが、分流式の場合は火山灰は污水管には侵入しにくい。

⇒ 降雨後、または水による清掃の増加後、分流式の雨水管、合流式の管路で閉塞が発生する可能性がある。

### (2) 下水処理場、ポンプ場の被害[定性]

- ・処理施設に覆蓋がない場合、直接の降灰による沈殿池の埋積、ろ過材の目詰まり等により、処理能力が低下する可能性がある。
- ・処理施設に覆蓋があっても、合流式の処理施設の場合、流入水に含まれる火山灰により、処理能力が低下する可能性がある。
- ・ポンプ場では、火山灰の流入により、機能不全が発生する可能性がある。

### ○他分野の影響

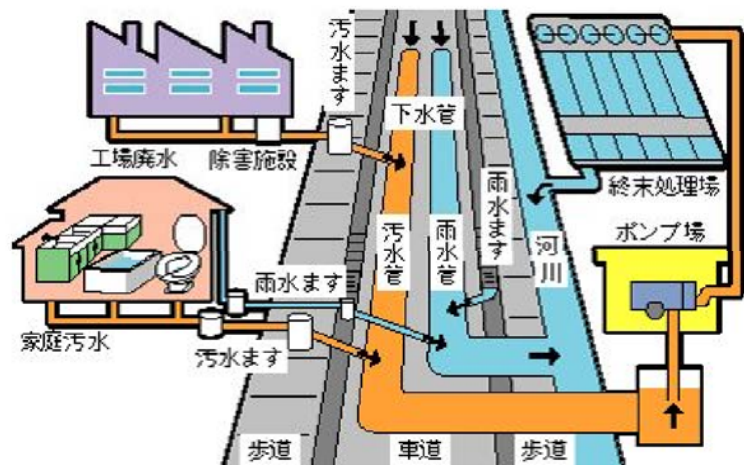
- ・停電エリアでは、下水処理場、ポンプ場の運転が停止する(自家発電設備を有する場合を除く)。
- ・道路が途絶すると、燃料等の不足により、処理場、ポンプ場の機能停止が発生する可能性がある。



# ③下水道

## (参考)下水道施設の構成等

### 【下水道施設の構成】



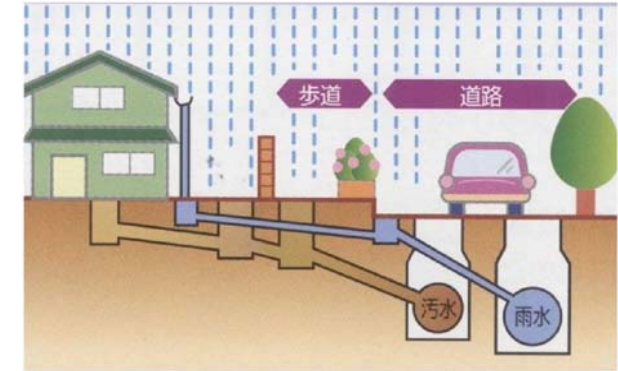
下水道施設の構成

図の出典:国土交通省ホームページ

- 下水道施設
- 排水施設（排水管、排水渠等） 火山灰による管渠詰まりで排除機能が低下する。
  - 処理施設（水処理施設、汚泥処理施設等） 火山灰による施設の埋積で処理機能が低下する。
  - 補完施設（ポンプ施設等）

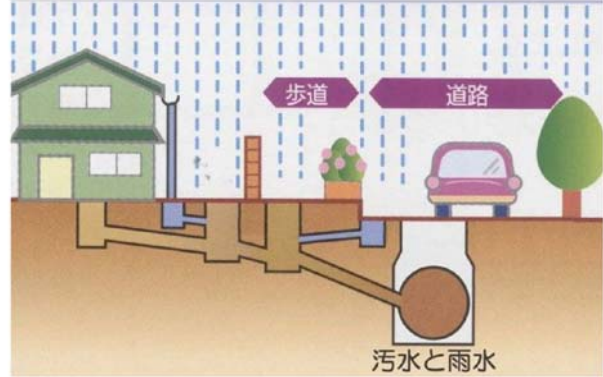
図の出典:国土交通省ホームページ  
(赤枠及び説明文内閣府加筆)

### 【下水の排除方式(分流式と合流式)】



下水の排除方式(分流式)  
(主に昭和45年以降)

**分流式:** 汚水と雨水を別々の管渠系統で排除する。現在整備される管渠は分流式である。



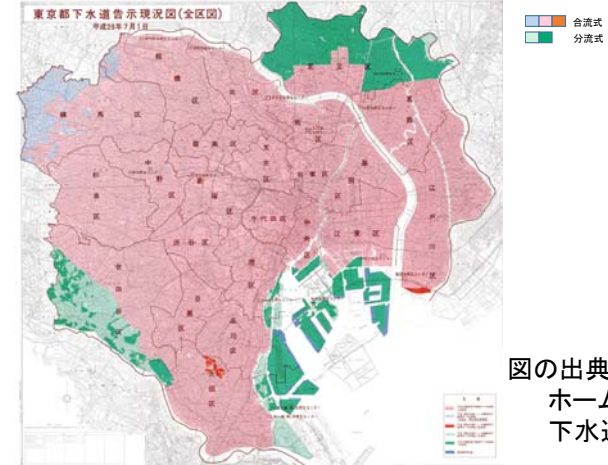
下水の排除方式(合流式)  
(主に昭和45年以前、東京23区や横浜市中心部など)

**合流式:** 汚水と雨水を同一の管渠系統で排除する。

図の出典:国土交通省ホームページ

### 下水道の現況

・東京23区は合流式の面積が多い(約8割)



図の出典:東京都下水道局  
ホームページ, 23区の公共  
下水道の普及状況

・横浜市は、市の面積の約7割が分流式、約3割が合流式  
・千葉県は、ほとんどが分流式

# ④通信

## 1. 想定される影響

- ・通信不調
  - ・通信増による輻輳
  - ・電気通信設備故障等機器への影響
- [定性]

## 2. 過去の噴火における被害事例等

| 降灰厚さ                          | 発生した主な事象(数字:降灰厚さcm)                                                                    |               |             |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------|
|                               | 降灰(降灰中)                                                                                | 積灰(降灰中～降灰終了後) | 人為的な判断による影響 |
| 10cm以上                        | ●15 携帯電話の通信機能は問題なく維持された(チャイテン2008))                                                    |               |             |
| 5cm前後<br>10cm<br>～<br>2cm     | ●8 通信不調(ハト'ン1991)<br>●2.5 空調故障(ハ'カヤ2010)<br>●2 衛星アンテナ故障(シナ'ン2013)<br>●2 通信不調(ハ'カヤ2010) |               |             |
| 1cm前後<br>2cm<br>～<br>0.3cm    | ●0.5 通信不調(ト'ングラワ2010)                                                                  |               |             |
| 1mm前後<br>0.3cm<br>～<br>0.05cm | ●0.3 火山灰の影響で電話交換機の空冷機能が停止(ス'ハ'ー1992)<br>●0.1 空調故障(ル'ア'フ1996)                           |               |             |
| 0.5mm<br>以下                   |                                                                                        |               |             |

## 3. 想定する影響の条件(案)

- ・Wilson et al. (2012)によると、
  - 降灰による通信上の最も顕著な影響は、利用者の多さによるものである。
  - アンテナに湿潤な火山灰が積もるとフラッシュオーバーを起こすことがある。
  - 2008年チャイテン山(チリ)噴火の際、最初の噴火で30mm、合計で150mmの降灰量に達した市街地においても、噴火の期間中、携帯通信や衛星通信、UHF ラジオ等、あらゆる通信に障害は発生しなかった。降灰のあった期間を通じて、携帯電話の通信機能は問題なく維持された。
  - オークランド(ニュージーランド)における通信工学の技術者グループは、理論的な分析の結果、電波に関しては、衛星放送のような高周波数帯での影響もしくは雷による影響以外は生じにくいと結論づけている。
- ・有珠山2000噴火時に携帯電話等が用いられたが通信障害の報告はない。
- ・アメリカ地質調査所は、大量の帯電した火山灰が発生すると、電波に干渉を起こし、無線や電話システムを動作不能にする可能性があるが、事例は滅多になく、火山周辺や、降灰地域で、無線および電話による通信が機能し続けている例は数多くある、としている。



○本WGの想定で用いる条件は以下のとおりとする。

- (1)通信不調 [定性]
  - ・降雨時には、アンテナへの火山灰の付着により、アンテナの指向特性へ影響するなど通信が阻害される可能性がある。
- (2)通信増による輻輳 [定性]
  - ・噴火直後には、固定電話、携帯電話について、利用者の増加による輻輳が生じる可能性がある。

### ○他分野の影響

- ・携帯電話基地局等の小型の局舎においては、局舎の換気口を通じて、火山灰が内部に侵入し、電気通信設備の電子回路に火山灰が付着し、当該設備が故障する可能性がある。
- ・火山灰が空調の室外機内部に侵入し、当該機器の動作に支障が発生することにより、局舎内の温度が上昇し、結果として局舎内の機器の熱暴走により、正常な動作ができなくなる可能性がある。
- ・停電が長期間に及んだ場合、非常用電源の燃料が切れること等により、基地局、交換設備等の機能に支障が生じ、通信サービスが停止する可能性がある。

# ⑤建物

## 1. 想定される影響

- ・木造家屋の損壊・倒壊
  - ・雨どいやひさしの損壊
  - ・倉庫などの支点間の長い屋根の損壊
  - ・家屋の埋没
- [定性]

## 2. 過去の噴火における被害事例等

| 降灰厚さ                          | 発生した主な事象(数字:降灰厚さcm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |         |               |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------------|
|                               | 降灰中                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 降灰中～降灰後 | 通行規制等(人為的な行為) |
| 10cm以上                        | 多くの建物被害事例がここに該当する                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |         |               |
| 5cm前後<br>10cm<br>～<br>2cm     | <ul style="list-style-type: none"><li>● 100 家屋の多くが倒壊、損傷(富士山1707、桜島1914、ヘイマウェイ1973、タブルブル1994)</li><li>● 90 屋根損傷・全壊(ラバウル1994)</li><li>● 80 浄水場の建物。約80cmの降灰で梁に亀裂(有珠山1977)</li><li>● 75 屋根損傷(ヘイマウェイ1973)</li><li>● 60 鹿部村で全焼。全壊335戸(北海道駒ヶ岳1929)</li><li>● 50 洞爺湖温泉の保育所、50センチの灰に雨が加わり屋根が崩壊。1969年開所の比較的新しい建物(有珠山1978)</li><li>● 30 建物損傷(チャイテン2008)</li><li>● 20-15 クラーク空軍基地の格納庫屋根が崩れる(ピナツボ1991)</li><li>● 13-9 屋根損傷、建物損傷(新燃岳2011、ラバウル1994、ピナツボ1991、セントヘレンス1980、ウェスヴィオ1906)</li><li>● 10 宮崎県都城市御池地区の牧場。堆肥を保管する幅約60mの建屋が灰の重みで全壊(霧島山2011)</li></ul> |         |               |
| 1cm前後<br>2cm<br>～<br>0.3cm    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |         |               |
| 1mm前後<br>0.3cm<br>～<br>0.05cm |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |         |               |
| 0.5mm以下                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |         |               |

## 3. 影響の条件の考え方(案)

### (1) 木造家屋への影響

- ・日本建築学会(2018)は、降灰の可能性マップが示す降灰量がすべて建物に積載したと仮定して、可能性マップの降灰量に降灰の単位重量(乾燥状態で113N/m<sup>2</sup>/cm、湿潤状態で167N/m<sup>2</sup>/cm)を乗じて積灰荷重を算出し、設計用積雪荷重と比較している(関東平野部の多くの建物で用いられている設計用積雪荷重(垂直積雪量30cm)に相当する荷重は600N/m<sup>2</sup>)。
- ・平成26年2月の関東地方の大雪において全壊した住家はすべて木造で、総じて、設計上想定した以上の積雪量に対応する積雪荷重が老朽化した木造建築物に作用した場合と分析されている。

### (2) 支点間の長い大型建物への影響

- ・日本建築学会(2018)は、山形フレームの架構形態を有する体育館を事例に構造安全性の検討を行い、乾燥状態で7～8cm、湿潤状態で4～5cmで、短期許容曲げモーメントに達しており、積雪荷重を超える降灰の深さで構造物の損傷もしくは崩壊に至る可能性が高くなる、としている。
  - ・また、平成26年2月の関東地方の大雪における建物被害のうち、屋根全体の崩落が発生したものについては、積雪荷重の1.1～1.8倍程度と推定される積雪荷重が作用して、設計上の想定を超える荷重の作用に対して耐力上の余裕のない建築物であったこと等によるとされている。
- ⇒ 支点間の長い大型建物については、積雪荷重を超えるような降灰の深さで、耐力上余裕のない建物で損壊の可能性が高くなる。



# ⑥設備（空調等）

## 1. 想定される影響

- ・吸気ラインが地面に水平な形状の非常用発電機や空調のフィルタの目詰まり

## 2. 過去の噴火における被害事例等

- ① 機能が停止した事例
  - I. スパー火山(アラスカ)1992年噴火の際に、火山灰の影響により電話交換機の空冷機能が予防的に停止された(降灰量3mm)。
- ② 機能が停止しなかった例
  - I. 桜島の1980-1990年代の噴火の際に、鹿児島市では外付けの空調ユニットに影響なし(5mm未満)
  - II. カターニア市(イタリア)では、エトナ山の噴火の際に、正常に機能すると報告されている。

## 3. 影響の条件の考え方(案)

- ・Wilson et al. (2012)は吸気口が地面に水平である場合、目詰まり等に脆弱であるとしている。
- ・Barnard(2009)は、エアコンへの火山灰による影響に関する実験結果から、
  - 現在の通常タイプのエアコン(エアコン本体と室外機が分離しているもの)は、火山灰の影響をほとんど受けない。これは旧式の一体型よりもファンの速度が遅いことも影響している。特に室外機のファンが水平方向に排気する場合には火山灰が侵入しにくい。
  - 一方で、湿潤状態の火山灰になるほど、ファンの動作は影響を受けやすくなる。
  - ファンのメンテナンスを怠らなければ降灰量30mm程度であれば、エアコンは稼働し続ける可能性が高い。としている。
- ・久保・他(2018)による空調用室外機の実験では、50mmまでの降灰により、熱交換器のフィンに火山灰が付着して通風抵抗が増加し、ファン運転電流にわずかな上昇が見られたものの、湿潤状態で降灰深が約50mmのケースを除くと、空調用室外機はほぼ正常に稼働することが確認されている。

- ・山元・他(2016)による、発電機用の吸気フィルタへの火山灰吹付け試験では、時間数mmの降灰に相当する火山灰濃度(700mg/m<sup>3</sup>)でプレフィルタ+中性能フィルタの組み合わせで26分~97分程度で使用できない状態となった。

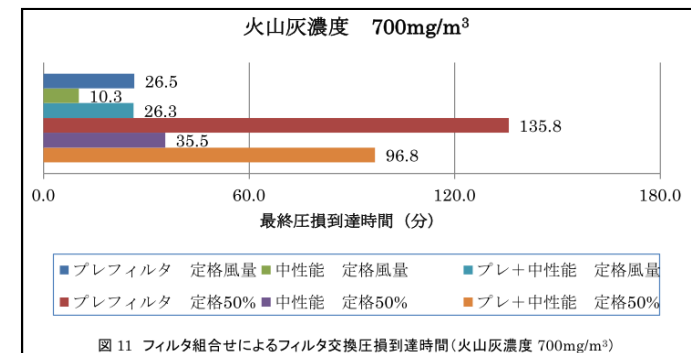


図 11 フィルタ組合せによるフィルタ交換圧損到達時間(火山灰濃度 700mg/m<sup>3</sup>)  
発電機用の吸気フィルタへの火山灰吹付け試験 試験結果の例 (山元・他(2016))

- ⇒空調用の室外機は1日に5cm以上の降灰で稼働に支障が生じる可能性がある。
- ⇒発電機の吸気フィルタは、通常より早い間隔で交換が必要となる可能性がある。

# ⑦家電製品・情報機器

## 1. 想定される影響

- ・換気・冷却ファンの停止による加熱
- ・機器内部の部品腐食
- ・部品への火山ガス成分付着による短絡
- ・電動モーターの摩耗

## 2. 過去の噴火における被害事例等

### (1)被害事例

#### ① 火山灰で火山観測用のパソコンが故障した事例

- I. スフリーエル・ヒルズ山(イギリス領モントセラート島)2007噴火の事例では、換気口の目詰まりによるオーバーヒートが故障原因と報告されている。
- II. 雲仙岳1990-1995噴火の事例では、ハードディスクの損傷が故障原因とされている(須藤, 2004)。

### (2)被害の発生時期、降灰の厚さ等と被害事例の関係

【降灰中に発生し、降灰の厚さ等とともに発現が増える被害】

- ・ 細粒な火山灰の気中濃度が高い場合に被害が発生する可能性。

【降灰中～降灰終了後に発生し、降灰の厚さ等とともに発現が増える被害】

【同じ程度の降灰の厚さでも発生の有無が異なる被害】

- ・ 火山礫や粗粒の火山灰の場合はフィルタ目詰まりや機器内部への火山灰の侵入は生じない。

【事例が少なく、降灰の厚さ等との関係が不明な被害】

## 3. 影響の条件の考え方(案)

- ・ Wilson et al. (2012)は、コンピュータは通常屋内で使用されるため、火山灰に直接さらされることは少なく、過去20年火山灰の影響を受けた報告はほとんどない、としている。
- ・ Gordon et al. (2005)によるパソコンへの火山灰による影響に関する実験結果によると、
  - 火山灰(ニュージーランドのルアペフ山、桜島、ニュージーランドのカハロア山の3火山)を用いたパソコンの稼働実験では、降灰濃度 $0.2\text{g}/\text{m}^3$ で720時間の実験時間を通じて故障しなかった。
  - ただし、大量の降灰条件下( $200\sim 1000\text{g}/\text{m}^2$ )では100～150時間程度稼働した後に停止した(特に湿潤条件下で停止が顕著)とされている。



# ⑧健康への影響

## 1. 想定される影響

- ・目・鼻・咽・気管支の異常等
- ・慢性珪肺症または炎症反応のリスク増加（長期間曝露）
- ・付着による皮膚の炎症
- ・心理的ストレス上昇
- ・除灰時の屋根からの転落

## 2. 過去の噴火における被害事例等

| 降灰厚さ                          | 発生した主な事象（数字：降灰厚さcm） |                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                            |
|-------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
|                               | 降灰（降灰中）             | 積灰（降灰中～降灰終了後）                                                                                                                                                                                                                                          | 人為的な判断による影響                                                                                |
| 10cm以上                        |                     |                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                            |
| 5cm前後<br>10cm<br>～<br>2cm     |                     | <ul style="list-style-type: none"><li>●7.5 軽い呼吸器疾患。灰によって速やかな手当てを必要とする症状を訴えた患者の数は、人口1,000人当たり10～20人（セントヘレンズ1980）</li><li>●2 降灰が2cm以上の地域で、堆積した火山灰の再飛散による目、鼻、気管支の異常等の肉体的障害が報告されている（有珠山1977）</li></ul>                                                     | <ul style="list-style-type: none"><li>●1～5 除灰中に屋根・はしごから落下した負傷25件、うち重傷6件（新燃岳2011）</li></ul> |
| 1cm前後<br>2cm<br>～<br>0.3cm    |                     | <ul style="list-style-type: none"><li>●1.3 降灰後1週間は呼吸器の症状、とくに喉の腫れ、気管支炎、慢性的病（ぜん息、肺気腫）の悪化を訴える患者の数が普段よりも50%多かった（セントヘレンズ1980）</li><li>●0.5 喉、鼻、あるいは眼の異常の訴え。入院患者や治療を受けた患者数の増大。健康障害を訴えた人の割合住民1,000人当たり2～4人。健康障害を訴えた人の割合住民1,000人当たり2～4人（セントヘレンズ1980）</li></ul> |                                                                                            |
| 1mm前後<br>0.3cm<br>～<br>0.05cm |                     | <ul style="list-style-type: none"><li>●0.13 慢性的な肺の疾患を持つ人に関しては健康上の問題が増加する懸念（セントヘレンズ1980）</li><li>●0.01 喘息患者の43%が症状悪化、軽症と中等症の患者に有意な影響（浅間山2004）</li></ul>                                                                                                 |                                                                                            |
| 0.5mm以下                       |                     |                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                            |

## 3. 影響の条件の考え方（案）

- (1) 目・鼻・咽・気管支の異常等
- ・火山灰は、一般的に15μmを超えるものは鼻腔から気道に到達せず、10μm以下で気管や気管支に、4μm以下で肺胞に到達する（Horwell, 2007）。
  - ・石峯・和田（2013）によると、
    - －火山灰が目に入った場合、炎症を引き起こす場合がある。
    - －短期間、吸い込んだ程度では健康に影響を及ぼすことはないが、口や鼻に入ると強い不快感がある。
    - －大量の火山灰が肺の奥深くまで入ると、健康な人でも咳の増加や胸の不快感が現れ、喘息や気管支炎、COPD等の呼吸器疾患や心疾患のある人々は影響を受ける可能性が高い。とされている。
  - ・鹿児島市や霧島地域においては、明らかな健康被害や呼吸器疾患が増えたと報告された例はない（江口他, 2013）。2004年の浅間山の例では、軽症・中等症の患者に有意な影響があったとされている（清水・他, 2005）。
- ⇒降灰による直接の急性の健康被害は起こりにくい、目・鼻・咽・気管支に異常を生じる可能性がある。
- (2) 除灰中の作業事故
- ・除灰中に屋根・はしごから落下するなどして負傷した例があり、除雪作業と同様に作業事故が発生する可能性がある。

## 参考文献

- アメリカ地質調査所USGSホームページ, Cordon Caulle 2011 ([https://volcanoes.usgs.gov/volcanic\\_ash/cordon\\_caulle\\_2011.html](https://volcanoes.usgs.gov/volcanic_ash/cordon_caulle_2011.html)).
- Auckland Engineering Lifelines Group(2009)Review of Impacts of Volcanic Ash on Electricity Distribution Systems, Broadcasting and Communication Networks, Auckland Regional Council Technical Report, 51.
- Scott Trevor Barnard(2009)THE VULNERABILITY OF NEW ZEALAND LIFELINES INFRASTRUCTURE TO ASHFALL, UNIVERSITY OF CANTERBURY.
- 中部地方整備局(2014)水質調査結果の報告(御嶽山噴火に伴う木曽川上流域水質保全対策検討会第1回資料).
- 電気共同研究会(2003)配電機材に対する劣化環境の定量評価, 電気共同研究, 69, 3.
- 電気設備自然災害対策ワーキンググループ(2014)産業構造審議会保安分科会電力安全小委員会電気設備自然災害等対策ワーキンググループ中間報告書.
- 江口尚・石峯康浩・和田耕治(2014)火山噴火に備える, 労働の科学, 69, 1, 34-38.
- 藤井智晴・尾関高行(2014)ガスタービン用吸気フィルタの保守管理の実態調査, 電力中央研究所報告, M13008.
- K. D. Gordon, J. W. Cole, M. D. Rosenberg, D. M. Johnston(2005)Effects of Volcanic Ash on Computers and Electronic Equipment, Natural Hazards, 34, 231-262.
- Claire J Horwell(2007)Grain-size analysis of volcanic ash for the rapid assessment of respiratory health hazard, Journal of Environmental Monitoring.
- 石峯康浩・和田耕治(2013)火山噴火時に周辺住民に起こりうる健康影響, 労働の科学, 68, 7, 38-42.
- 神奈川県ホームページ, 谷ヶ原浄水場(平成23年3月発行) (<http://www.pref.kanagawa.jp/cnt/f906/p310410.html>).
- 片岡正次郎・白戸智・牛島由美子・高宮進(2013)インフラシステムの災害復旧過程のモデル化と震災復旧シミュレーション, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), 69, 1, 1-19.
- 川畑秋馬・入佐俊幸・上妻生朗(1995)火山灰汚損がいのししの漏れ電流特性, 115, 8, 956-963.
- 川畑秋馬, 平山斉, 田島拓弥, 平井明仁, 吉村幸雄, 増田淳, 鹿児島大学, 中央自動車工業株式会社, 鹿児島県工業技術センター, 産業技術総合研究所(2016)火山降灰が太陽電池モジュールの発電量に及ぼす影響, AIST太陽光発電研究 成果報告会.
- 国土交通省ホームページ, 下水道施設の構成と下水の排除方式 ([http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo\\_sewerage\\_tk\\_000416.htm](http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo_sewerage_tk_000416.htm)).
- 久保智弘・宮城洋介・宮村正光・野畑有秀・大塚清敏・諏訪仁(2018)火山灰が及ぼす建築設備などへの影響について, 建築防災, 2018,12.
- 目黒公朗・永田茂・立川貴重・片山恒雄(1992)台風19号による大規模停電の都市機能への被害波及に関する調査研究ー広島地域における大規模停電の影響ー, 生産研究, 44, 4, 18-25.
- 日本建築学会火山災害対策特別調査委員会(2018)「火山災害対策特別調査委員会」活動報告書(2018年3月).
- 日本水道協会ホームページ, 日本の水道の現状 (<http://jwwa.or.jp/shiryuu/water/water.html>).
- 小野島広大・坂野和弘・石黒勇次郎(2016)御嶽山噴火に伴う対応及び水質に関する影響, 中部地方整備局館内事業研究発表会(平成28年度).
- 清水泰生・土橋邦生・久田剛志・小野昭浩・宇津木光克・飯島浩宣・戸所誠・飯塚邦彦・小池陽子・石塚全・森川昭廣・森昌朋(2005)浅間山火山噴火における急性喘息症状変化及び投薬内容変化の検討(2005)日本アレルギー学会秋季学術大会(第55回), 54, 8-9, 1081.
- 水道技術研究センター(2014)高濁度原水への対応の手引き(平成26年6月).
- 須藤茂(2004)降下火山灰災害-新聞報道資料から得られる情報,地質ニュース,604, 41-65.
- 東京都下水道局ホームページ, 23区の公共下水道の普及状況 (<http://www.gesui.metro.tokyo.jp/living/life/spread/>).
- 東京都下水道局ホームページ, トピック26回浄水処理 (<https://www.waterworks.metro.tokyo.jp/suigen/topic/26.html>).
- 東京都水道局, 東京の水道 ([https://www.waterworks.metro.tokyo.jp/kouhou/pamph/suido/pdf/suido\\_h26-22.pdf](https://www.waterworks.metro.tokyo.jp/kouhou/pamph/suido/pdf/suido_h26-22.pdf))
- 土志田 潔, 本間宏也, 屋地康平, 服部康男, 竹内晋吾(2015)降下火山灰が電力流通設備に与える影響ーがいのしの耐電圧特性に関する最近の知見ー, 日本地質学会学術大会要旨講演要旨, 第122年学術大会(2015長野), R3-P-2.
- 山元孝弘・古川竜太・奥山一博(2016)吸気フィルタの火山灰目詰試験, 地質調査総合センター研究資料集, 629, 1-26.
- J. B. Wardman, T. M. Wilson, P. S. Bodger, J. W. Cole, C. Stewart (2012)Potential impacts from tephra fall to electric power systems : a review and mitigation strategies, Bull Volcanol, 74, 2221-2241.
- Thomas M. Wilson, Carol Stewart, Victoria Sword-Daniels, Graham S. Leonard, David M. Johnston, Jim W. Cole, Johnny Wardman, Grant Wilson, Scoot T. Barnard(2012)Volcanic ash impacts on critical infrastructure, Physics and Chemistry of the Earth, 45-46, 5-23.