

瞬時電圧低下が及ぼす事業中断リスク

2010年12月8日瞬時電圧低下事故に関する考察

江本 邦幹 Kunimiki Emoto

リスクエンジニアリング事業本部 リスクエンジニアリング部
コンサルタント

奥山 憲昭 Noriaki Okuyama

リスクエンジニアリング事業本部 リスクエンジニアリング部
シニアコンサルタント

1. 事故概要

三重県四日市市内に所在する中部電力四日市火力発電所で、2010年12月8日（水）午前5時20分頃、瞬時電圧低下（瞬低）^{※1}が発生した。

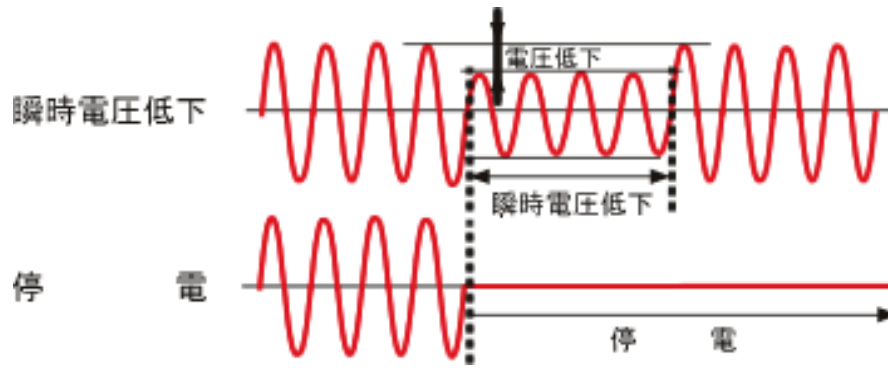
瞬低が発生した箇所は、同発電所内にある四日市火力変電所の開閉装置だった。同発電所では当時15万4千ボルトの電力を供給していたが、約15km離れた西名古屋変電所（同県桑名市）で約60%、約35km離れた南大垣変電所（岐阜県輪之内町）で約50%の電圧低下が発生した。また、同発電所に隣接する四日市コンビナート内では、6割以上の電圧低下が発生した施設もあると考えられるという。

（図1 当該事故の流れ：掲載許諾期限終了のため削除）

瞬低の継続時間（故障点を除去するために高速開閉装置を動作させた時間）は0.07秒で、極めて瞬間的な事象であったが、三重県内で109件、岐阜県内で37件の大規模工場やビルなどで、生産活動や営業活動に影響が出た。

中部電力三重支店によると、このトラブルにより、企業などから「機器が停止した」といった苦情などが100件以上にも及んだという。

^{※1} 瞬低:ライン電源電圧が通常の90%程度以下に電圧低下することを「瞬低」という。一方、瞬時停電(瞬停)は、ライン電源が瞬間的(数ミリ秒～数秒)にOFF(停電)になることで、瞬低とは異なる。



出典：「瞬低ソリューションに関する研究」（九州電力ホームページ）

図2 瞬低（瞬低）と瞬停（瞬時停電）との違い

2. 企業への影響

新聞などマスコミ報道によると、企業への影響は以下の通りである。

2.1. 東芝四日市工場（半導体製造工場）

NAND型フラッシュメモリー（携帯電話やデジタルカメラなどに使用される半導体記憶媒体）をフル生産していた東芝四日市工場では、12月8日午前5時20分頃、クリーンルームの空調設備が止まり、一部の生産ラインが停止した。

生産ラインは12月10日午後に復旧したが、2011年1～2月の出荷量は最大2割減のおそれがあるという。同社は1～3月のフラッシュメモリーの売上高を約1,700億円と予想していることから、単純計算で月額100億円程度の減収になるとみられる。

フラッシュメモリーとは電氣的に内容の書き込み・消去ができるメモリー（情報記憶媒体）の一種で、外部から電源を供給しなくても内容が消えない構造のメモリーのことを言う。

高性能携帯電話（スマートフォン）やタブレット型パソコンなどに搭載され、需要が急拡大している。

2.2. コスモ石油四日市製油所（製油所）

12月8日午前5時20分、電圧低下トラブルと同時に、製油所の電力の約9割を賄っている自家発電設備（コジェネレーション設備17,500kW×2基）が停止した。その影響により、四日市製油所内の蒸留、脱硫など全装置が一斉に停止するとともに製油所内の停電が3時間弱続いた。

自家発電設備は、非常時に完全に買電に切り替わる安全装置が働くことになっていたが、停電により作動しなかった。当製油所は12月10日以降、原油処理などの装置を順次立ち上げ、事故の翌週までには通常操業に戻った。

四日市市工業振興課によると、同社は周辺の工場に原料を供給しており、操業停止が長引くと周辺工場の生産に影響が出る可能性があるという。

＜自家発電設備停止に関する NKSJ リスクマネジメントの推察＞

瞬低は、配電線のショートによって中部電力の開閉装置内の電圧がゼロ近くにまで下がり、別の箇所を流れる電気が同装置内に一斉に流れ込んだため発生した。事故を起こした発電所に近い同社の自家発電設備は、電圧低下により発電した電気が引き込まれ発電機が増速し、危険な状態に陥るおそれがあるため、発電機の開閉装置が自動的にライン電源を遮断したものではないかと推察する。

2.3. 三菱化学四日市事業所（石油化学工場）

全体の2～3割の製造設備に影響が出たが、9日朝に復旧した。

2.4. 東ソー四日市事業所（石油化学工場）

プラントが一部停止したが、8日中に復旧した。ポリエチレンの生産に影響が出ている。

2.5. トヨタ車体いなべ工場（自動車組立工場）

トヨタ自動車のミニバンを受託生産しているトヨタ車体いなべ工場（三重県いなべ市）では、塗装工程などで使うロボットのデータが消え、一部生産ラインで8日午前6時25分からの操業開始が約1時間遅れた。

2.6. ホンダの鈴鹿製作所（自動車組立工場）

部品の加工設備の一部が一時停止したが、8日中に復旧した。

2.7. 三菱ケミカル HD 四日市事業所（石油化学工場）

ポリカーボネートの加工装置が一時的に停止したが、実害は発生していない。

2.8. パナソニック電工四日市工場（電子部品工場）

電子材料工場で生産ラインが一時停止した。実害は不明。

2.9. 三重ごみ固形燃料発電所（発電所）

三重県企業庁が運営する同発電所（桑名市）が停止した。

3. 事故原因

中部電力は12月10日、変電所内の電気の流れを調整する装置（ガス開閉装置）につながる送電線がショートしたことが原因であったと発表した。

この装置には直径約10センチの導体線3本が通っている。これらの導体線は、絶縁体となる六フッ化硫黄ガス(SF₆)で満たされた直径約1メートルの配管の中を通っている（GIS：Gas Insulation System）ため、通常は導体線間でショートすることはない。しかし、今回のトラブルでは、3本の導体線すべてがショートしていた。ショートした原因は不明であるが、次の点が明らかになっている。

- 不具合発生の際には作業員が開閉装置スイッチの操作をしていなかったことから、作業者の操作ミスが原因ではないこと
- 小動物などの外部からの侵入は考えられないことから、小動物の接触が原因ではないこと
- 同発電所は1963年に稼動し、中部電力が運営する10ヶ所の火力発電所のうち最も古い発電所であるが、「変電所の設備は必要に応じて更新しており、老朽化が原因とは考えにくい（同社コメント）」とされ、また、11月25日の巡視点検では異常は確認されなかったことから、設備が原因である可能性は低いこと

<事故原因に関するNKSJリスクマネジメントの推察>

① 強風による送電線のショート

強風によるギャロッピング現象^{※2}で、送電線が揺れてショートすることが想定される。8日早朝5時20分頃の四日市地方の最大風速は、北北西8.0m/sであったが、開閉装置の送電線は距離が短いため、この程度の風速による送電線同士の接触は考えにくい。

② 飛来物との接触によるショート

飛来物と送電線の接触によるショートの可能性は否定できない。過去の事例では、アルミ製のテープ（すずめ脅し）が飛散して電線に接触したことによる事故が報告されている。

③ 電線支持物の腐食によるショート

開閉装置の支持物、電線その他の架渉線などは、風圧に耐えるように施工されているが、海岸沿いに設置されているため、塩害・腐食などの進行によって緩みが発生し、離脱接触によるショートが発生した可能性がある。

※² ギャロッピング現象：送電線が上下に激しく触れる現象のこと。送電線に着氷または着雪が発生して電線の外形が筒状でなくなることによる送電線の風による自励振動現象をいう。発生に適した風向が比較的送電線路に直角に近く、しかも定常的に吹くと発生しやすい。

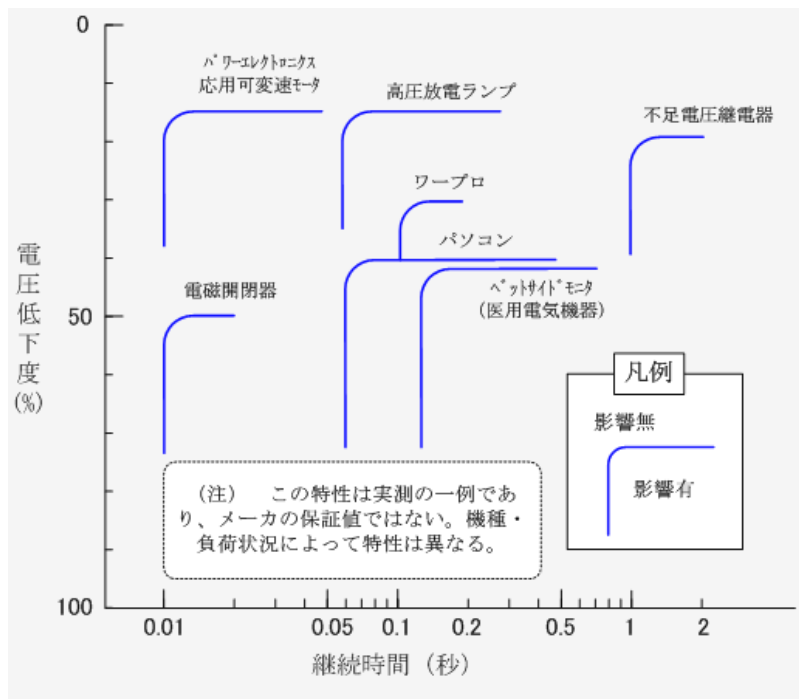
4. 瞬低リスクと対策（機器別）

瞬低が発生しても、白熱灯やアナログ機器では設備に不具合をきたすような悪影響はみられない。一方で、蛍光灯やパソコン・マイコン内蔵のロボット、NCマシン、デジタル制御機器などでは、それまでの動作設定がすべて白紙になってしまうため、初期設定に戻ってしまい、機械の動作がストップしたり、まれに暴走^{※3}することがある。

瞬低に関する調査研究は、「瞬時電圧低下対策」（電協研第46巻第3号、1990年）により全国レベルで実施されている。これによると、1 需要家あたり発生する瞬低回数は電圧低下度 20%以上の瞬低で年平均 5 回と報告されている。電圧低下度に着目すると、60%以下の瞬低が全体の約 9 割を占めている。瞬低継続時間に着目すると、0.1 秒以下の瞬低が多数を占めている。送電系統の電圧と瞬低継続時間（故障点を除去するために高速開閉装置を動作させた時間）との関係を、図3に示す。一般に、瞬低の継続時間は、15万4千ボルト系統や7万7千ボルト系統では0.1~2秒といわれている。また、図4から、今回の事故における継続時間はこれより短い0.07秒であるが、可変速モーターやパソコン、電磁開閉器、高圧放電ランプの動作に支障を及ぼすことがわかる。

送電系統の電圧	瞬低継続時間(秒)
500kV系統	0.07~0.3
275kV系統	0.07~0.3
154kV系統	0.1~2
77kV系統	0.1~2
6.6kV系統	0.3~2

図3 瞬低継続時間
(明電舎ホームページから引用)



出典：「瞬時電圧低下対策の最近の動きについて」
(社)日本電気技術者協会ホームページ)

図4 代表的な機器の瞬低耐量

※故障発生から除去までの電圧低下時間は、どんなに早い場合でも0.07秒程度なので図4に示す多くの機器が影響を受けることになる。

※³ 暴走:完全に消去されるべき内容が一部分だけ残ってしまうことにより、機械が異常動作する。

以下に、瞬低による機器別リスクの概要と対策について示す。

4.1. 工場のプロセス制御用コンピューターなど（UPS（無停電電源装置）未設置のもの）

<リスクの概要>

10～20%以上の電圧低下が0.003～0.02秒継続すると、計算ミスなどの防止のためコンピューターが自動停止する。

<対策例>

- 瞬低、停電対策として、UPS（無停電電源装置）を設置する。
- 瞬低だけに着眼した場合には、瞬低の継続時間が2秒までの場合には、電源部の直流部分に小容量の電池を接続すること、瞬低の継続時間が0.2秒までの場合には、直流安定化電源のコンデンサ容量を増やすなどの対策が考えられる。

4.2. 工場内設置モーターなど（マグネットスイッチ使用モーター）

<リスクの概要>

50%程度以上の電圧低下が0.01秒程度以上継続すると、マグネットスイッチが動作（開放）してモーターが停止し、工場の操業停止に波及する

<対策例>

- 製品および機器保護面に影響のない範囲で、瞬低時のマグネットスイッチの開放時間を遅らせるため、マグネットスイッチを遅延積放式に変更する。

4.3. 一般産業用モーター、エレベーター、浄水場・下水処理場のポンプ用モーターなど（サイリスタ(半導体整流素子)などを使用している可変速モーター）

<リスクの概要>

15%程度以上の電圧低下が0.01秒程度以上継続するとモーターが停止し、工場の操業やエレベーターの停止、水道の供給停止に波及する。

<対策例>

- 電圧低下発生時にモーターの制御方式をサイリスタ順変換器(コンバーター)または逆変換装置(インバーター)をロック状態とし、電圧が復帰した後、自動的に正常運転に戻す瞬低対策付きとする。

4.4. コジェネレーション設備など（短い時限の不足電圧リレーを設置している受電設備）

<リスクの概要>

不足電圧リレーの動作時間が短すぎると、設備が全面的に停止するか部分的な停止に及ぶ。

<対策例>

- 製品および機器保護面への影響を及ぼさない範囲で、不足電圧のリレーの動作整定時間（制御対象の動作がある一定の幅に収まるまでの時間）を延ばす。

4.5. パソコンなど

<リスクの概要>

40%以上の電圧低下が0.06秒程度以上継続すると記憶装置のデータが消失してしまう。また、ハードディスクへのデータ書き込み中に瞬低が発生すると、ヘッドクラッシュやアドレス不一致などによってハードディ

スク内の全データの読み書きが不可能となる。

<対策例>

- 瞬低、停電対策として、小容量のUPSを設置する。
- データのバックアップやデータ自動セーブ機能を活用する。

5. 瞬低リスクと対策（半導体製造工場）

瞬低が発生した場合、直接損害、間接損害（事業中断に伴う利益損失）が多くなる業種として半導体製造工場が挙げられる。

以下に半導体工場における一般的なリスクと対策について示す。

<リスクの概要>

半導体製造は、原料（シリコンウエハー）の投入から回路を形成したウエハーまで、複雑かつ精密な製造工程を数百回繰り返して回路を完成させるため数週間から2ヶ月程度を必要とする。この途中で、一瞬でも作業が中断すると、研磨、エッチング、拡散などの微妙な制御状況が確認できなくなり、完成品に不良品が多量に発生することによる直接損害のリスクが潜在する。例えば瞬低によって、「イオン打込工程（インプラ）」では、イオン注入量や注入深さに関して精密な制御ができなくなり、製品の品質保証が困難となり、不良品となる危険がある。

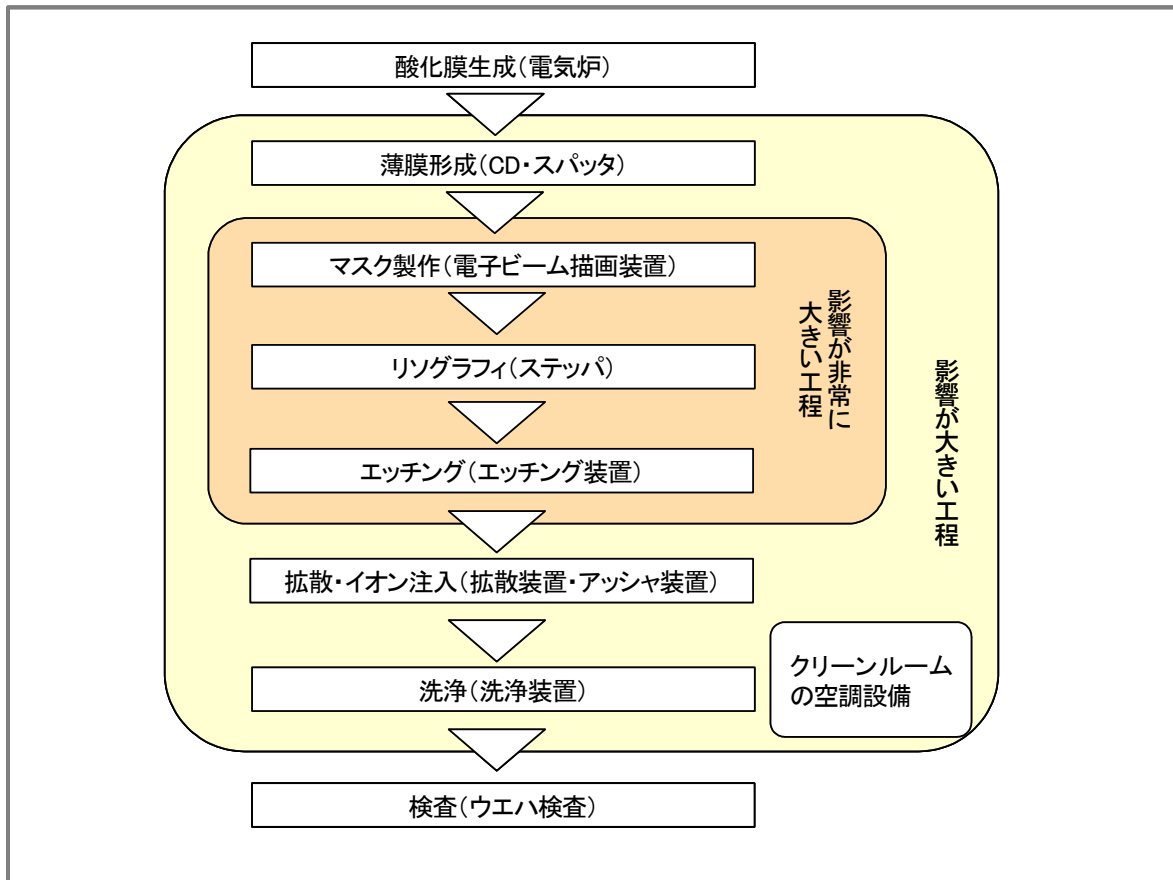
また、今回のような瞬低では、製造装置そのものが損傷したとは考えられないが、製造途中の仕掛品に不良品が生じているか否かを検証するため、および、クリーンルーム内の作業環境を瞬低前の状況に復旧するために時間を必要とすることから、操業中断による間接損害のリスクが潜在する。

半導体工場は製造工程のほとんどをクリーンルームと称する恒温恒湿の清浄空間で行う。清浄度を維持するため、特別なフィルターを有する空調設備が重要な役割を有している。瞬低によって一旦停止する空調の影響は、半導体の製造方式によって異なると推測する。特殊な密閉カセットケース（FOUP）に仕掛品を収納して装置間を移送する製造方式（ミニエンバイロメント方式）では、製造装置内の清浄度は非常に高いもののクリーンルーム内の清浄度は高くないため空調停止の影響が小さいと推測する。方式の異なる、密閉カセットを用いないダウンフロー製造方式（ベイ方式）では、クリーンルーム内全体の清浄度が高いことから、空調が停止して復旧までの間に発生する微細塵によって装置が汚染したり、仕掛品の表面に付着して品質低下を招くおそれがある。また、空調停止による温度変化は製造設備や仕掛品の熱膨張・収縮を招き、超精密加工に影響を及ぼすことがある。

最近の半導体の回路線幅は数十ナノメートル（ナノメートル：1/1000 ミクロンで10億分の1メートル）と非常に狭いため、眼に見えないような微細な塵が付着してもエラーを生じさせる危険が高まっている。回路や塵が微細なため、製造途中で異常を発見することが困難であり、最終の検査工程で不良率が高くなって判明することになる。不良率（歩留まり率）の多少は、利益および品質・信頼性に大きく影響するため、製造途中の停電（瞬低）などで品質が保証できないものは、その時点で不良品処理されることもある。

通常の組立工場などでは、ある工場の操業が停止した場合でも、代替工場を緊急に準備し、装置や治具を移設して緊急代替生産をおこなって生産停止期間を短縮するBCP（事業継続プラン）を策定していたり、実

践できるようにしていることが多い。しかし、半導体製造工場では、前述のように原料の投入から製品までに数ヶ月を要するため、緊急代替生産が困難な業種といえる。



(中部電力ホームページ「Biz Ene」から引用)

図5 半導体製造工程(一例)

前述のように、半導体工場では瞬低の影響が非常に大きいので、一般に、次のような対策が実施されている。

<対策例>

- UPS(無停電電源装置)が、操業継続上重要な設備に設置されている。製造制御用コンピューターのデータが消失することを防止することが目的である。
- UPSの能力を超える長時間の停電のために、非常用発電設備、または常用発電設備を設置している。常用発電設備から製造設備に給電することによって、買電系統の電圧変化による影響を除外している。
- クリーンルームにおけるクリーン度の維持管理のため、塵埃除去設備の電源を非常用発電機などにより確保している。また、有害物質が構外に排出されることを防止する設備にも発電機から給電する。
- 製造工程からの不具合を除去するため、クリーンルームの温度を $20 \text{ 数}^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ に制御する必要がある。そのため、空調設備の冷凍設備や冷媒液の循環ラインのポンプに瞬停再起動リレー(遅延リレー)を設置している。

6. 過去の事例

6.1. X電力A火力発電所（2009年3月）

2009年3月、X電力A火力発電所で、電線のショートによる電圧低下（0.04秒間）が発生した。X電力は、年間の電圧低下件数が最近10年平均で約340件に上ることを明らかにしたが、「ほとんどが落雷などの自然要因で、影響は局所的だった」と説明している。

6.2. Y電力（2008年8月）

2008年8月、Y電力管内の送電線に落雷したため、近くのB変電所の154kVの開閉装置に不具合が生じ、近隣のC変電所、D変電所の保護装置が動作したため、県内の広い範囲で停電となった。この停電で、県内に所在する多くの工場で長時間操業が停止した。

停電の原因は、いずれも県のほぼ全域に送電を行なっている超高圧変電所の「B変電所」に落雷が発生したことによる開閉装置の作動が原因であった。

県内の電気は、一部を除き他県のE原子力発電所やF原子力発電所から50万ボルトの高圧で直接B変電所へ送電されており、B変電所から4箇所の一次変電所と47箇所の配電用変電所に送られている仕組みとなっていた。

参考文献

瞬時電圧低下対策専門委員会 「瞬時電圧低下対策」（1990年6月）電気協同研究第46巻第3号、電気協同研究会
株式会社 近計システムホームページ「瞬時電圧低下（瞬低）」
社団法人 日本電気技術者協会ホームページ「瞬時電圧低下対策の最近の動きについて」
株式会社 明電舎ホームページ「明電大容量瞬時電圧低下補償装置 MEIPOSS CS」

執筆者紹介

江本 邦幹 Kunimiki Emoto

リスクエンジニアリング事業本部 リスクエンジニアリング部
コンサルタント
専門は火災、電力・電気設備

奥山 憲昭 Noriaki Okuyama

リスクエンジニアリング事業本部 リスクエンジニアリング部
シニアコンサルタント
専門は火災全般

NKSJ リスクマネジメントについて

NKSJ リスクマネジメント株式会社は、NKSJ グループのリスクコンサルティング会社です。全社的リスクマネジメント（ERM）、事業継続（BCM・BCP）、火災・爆発、自然災害、CSR・環境、セキュリティ、製造物責任（PL）、労働災害、医療・介護安全および自動車事故防止などに関するコンサルティング・サービスを提供しています。詳しくは、NKSJ リスクマネジメントのウェブサイト（<http://www.nksj-rm.co.jp/>）をご覧ください。

本レポートに関するお問い合わせ先

NKSJ リスクマネジメント株式会社
リスクエンジニアリング事業本部 リスクエンジニアリング部
〒160-0023 東京都新宿区西新宿 1-24-1 エステック情報ビル
TEL：03-3349-4321（直通）