

スーパーコンピュータ「京」における瞬時電圧低下対策

理研計算科学研究機構 ○関口芳弘

1 まえがき

スーパーコンピュータ「京」を支える電気設備における最大の特徴は、従来の電算機センターに必須の設備と思われるUPS（無停電電源装置）がないことである。近年電算機センターでは、超並列スーパーコンピュータが設置され、計算能力の向上と共に消費電力も指数関数的に増加している。商用電源の停電対策に対してこれまでUPSで保護してきたが、スパコンの消費電力の増加とともに必要UPS容量も増加してしまい、そのインシャルコストの負担や設置場所の確保が困難となっている。また、UPSの電力変換効率は95%程度であり、大規模システムでのその変換ロスも無視できないほどの電力になる。さらに、UPSの蓄電池は5年ないし7年ごとに交換が必要であり、大容量となれば運用費を圧迫する。鉛蓄電池であれば環境負荷も大きい。

ところで、UPSの保護可能な時間は電池の容量で決まってしまう、通常5分間から10分間程度が現実的な保護時間である。停電が起きた場合、蓄電池の容量による保護時間内に、コンピュータを安全にシャットダウンさせる。しかしながら大規模なスパコンシステムの場合、シャットダウンに要する時間は、30分から数時間にも及ぶため、通常のUPSでの保護時間内で完全にシステムをシャットダウンすることは不可能となっている。そのため、UPSの役割は瞬時電圧低下（以下瞬低と言う）対策のためだけとなっているのが実情である。瞬低対策であれば、電気二重層キャパシタやフライホイールも選択肢に入るが、大容量のものは導入費用もかさむため現実的ではない。

以上の理由から、近年大規模なスパコンを擁する電算機センターではUPSを介さず、商用電源で運転するものが増えてきている。しかし瞬低の主たる原因は落雷によるもので、自然現象であるため避けることは不可能である。瞬低はスパコンを停止させてしまう恐れがある。スパコンは停止してしまうと、再度立ち上げに数時間から1日程度を要する。その間、スパコンの利用ができなくなり、稼働率を下げる。よって、UPSを用いずに停電/瞬低対策を行うこと

が、本施設における課題であった。



スーパーコンピュータ「京」

2 CGSの採用

スーパーコンピュータ「京」は、常時11,000kWもの電力を消費するシステムであるため、UPSでの保護は現実的ではなく、商用電力で運転している。システムの停電対策として検討の結果、CGS（コジェネレーションシステム）を採用した。常用発電設備であるCGSを高速限流遮断装置と組み合わせ、UPSの代用として使おうというアイデアである。のみならずCGSの排熱回収により、スパコンの冷却も行なってしまうというわけである。ただし、その全てをCGSで保護することは現実的ではない。CGS容量が過大になり、回収した排熱を使い切ることができなくなるため、インシャル、ランニングともコスト増となる。であるため、ストレージ（ハードディスク装置）と研究棟部分のみCGSによる確実な無停電保護を行い、「京」本体は商用電源によるものとした。



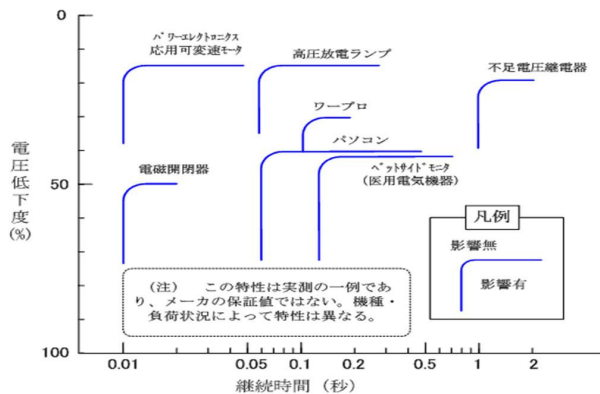
5000kW級×2台のCGS

Instantaneous voltage drop measures in K computer

SEKIGUCHI Yoshihiro(RIKEN AICS)

3 機器による瞬低耐量の違い

瞬低の時間並びに電圧低下によって影響を受けるかどうかは、機器によって異なる。一般的には下図で示されるようになっている。



機器による瞬低耐量の違い
電気技術者協会HPより引用

上図によればパソコンの場合、電圧低下度60%以上、継続時間0.06秒以上で影響を受ける。逆に言えば、その程度までの瞬低であれば影響を受けないのである。スパコンの場合はシステムによってまちまちであるが、規模が大きいほど瞬低耐量も大きくなるようである。なぜならコンピュータはコンデンサの塊であり、稼働中にコンピュータ自身に充電される電荷量が多いため、それによって自身の電圧を保持するからである。あるスパコン施設では、0.5秒近くの瞬低でもスパコンは停止しなかったそうである。しかしその施設では、瞬低によりスパコンは停止しなかったのであるが、スパコンを冷却する冷凍機、ポンプ、ファンが停止してしまったため、結果としてシステムは停止してしまった。冷凍機、ポンプ、ファンなどへ電源を供給する動力盤内の電磁開閉器の励磁が保持できず、開放してしまったためである。すなわち、上図に示すように電磁開閉器の方が瞬低に弱く、わずか0.01秒で開路してしまうのである。

4 立地点神戸での瞬低の状況

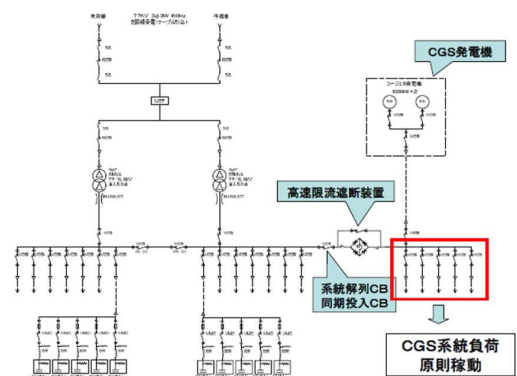
「京」は神戸市ポートアイランドに立地する。設計段階で関西電力に確認したところ、立地点近傍での77kV系統配電線の瞬低は非常に少なく、年間3~4回程度であり、そのほとんどは2~3サイクル(0.03秒~0.05秒)程度の短時間の瞬低とのことであった。また、近年は停電は一度も発生していないとのこと。

瞬低は主に落雷により発生するが、落雷の影響を受けるのは架空電線路だけである。神戸市内における77kV系統配電線路はほぼ地中ケーブル化しているため、落雷の恐れは非常に少な

い。落雷は上位系統である275kVないし154kVで発生する確率が高く、受電点より遠方であればあるほど、その間の送電線のインダクタンスに保有するエネルギーによって、瞬低の電圧低下は小さく、時間も短くなる。瞬低の影響が少ないことも、神戸を立地点として選定したひとつの大きな理由である。

5 「京」施設の停電/瞬低対策

以上の状況から、「京」の施設における瞬低対策は二つのレベルに分けて行った。一つは瞬低に弱く、絶対に停電させてはいけない部分は、CGSをUPSとして使うことにより保護する。具体的には、データを保存するディスクユニット、研究者が研究を行う研究棟はCGSと高速源流遮断機を組み合わせる無停電保護を行っている。



特高単線結線図

二つ目は、短時間の瞬低、すなわち「京」自身が持つ電荷によって保持可能な時間は、スパコンの冷却系を維持可能とすることとした。具体的には瞬低時間耐量の小さい電磁開閉器に、1秒間閉路状態を保持できる「遅延開放式コンタクタ」を採用したのである。つまり、短時間の瞬低時、スパコンが停止しない限りそれを維持する。そのために、スパコンの稼働に必要な冷却系などのユーティリティ設備もスパコン以上に瞬低に耐えよう、ということである。スパコンも落ちてしまうくらいの長時間、大きな電圧降下の場合は、すっぱりあきらめようということでもある。

「京」は昨年9月末より共用運転に入り、現在まで1年間稼働したが、システムメンテナンス時間を除いた稼働率は98%を超えた。この間瞬低は何度もあり、高速源流遮断器が開放した瞬低も1回発生したが、「京」は停止することがなかった。このことから「京」の稼働率は、UPSを用いたシステムと比べて遜色ないレベルで運用ができるであろうと考えている。