

蓄電池のデータセンタでの活用

Battery Application in Data Centers

神谷 岳*

1. はじめに

現代におけるさまざまな社会基盤の構成要素のうち、近年に急激に重要性・存在感を増したもののひとつにデータセンタを挙げることができるだろう。データセンタとは、情報処理を行うサーバー・情報を保存するストレージ・外部と通信を行うネットワーク機器等（ICT 機器）と、これらを無停止で安定に連続稼働させるために必要な給電・空調等を行う機器、それにこれらを監視し保護するための監視機器・装置等を納めた箱（建物）であり、大小さまざまなデータセンタが情報通信社会を支えるインフラのひとつとして多数稼働している。データセンタの別の観点での特徴として、大電力を消費する巨大負荷であることが挙げられ、これを安定かつ経済的に稼働するためにさまざまな工夫がなされてきている。以下、データセンタと蓄電池との関わりについて述べる。

2. データセンタでの蓄電池活用の歴史

データセンタは一般的に無停止で安定に連続稼働することが期待されるため、災害・停電時に備えて適切なバックアップ手段を備えることが必須である。非常時にファイルシステム等に異常をきたすことなく ICT 機器を正常にシャットダウンできればよい場合はバックアップの時間が5～20分程度であることが多く、この目的では通常、蓄電池によるバックアップが行われる。一方、非常時でも連続稼働が必要な場合には、ディーゼル発電機やガスタービン発電機によるバックアップが行われるが、これらが起動するまでの数十秒～2分程度は蓄電池によるバックアップが行われる。

さて、前述では単に「蓄電池によるバックアップが行われる」と書いたが、伝統的な ICT 機器は交流電力で駆動されるため、直流デバイスである蓄電池によって直接バックアップを行うことは不可能である。そこで、Fig. 1 に示すような、蓄電池の直流

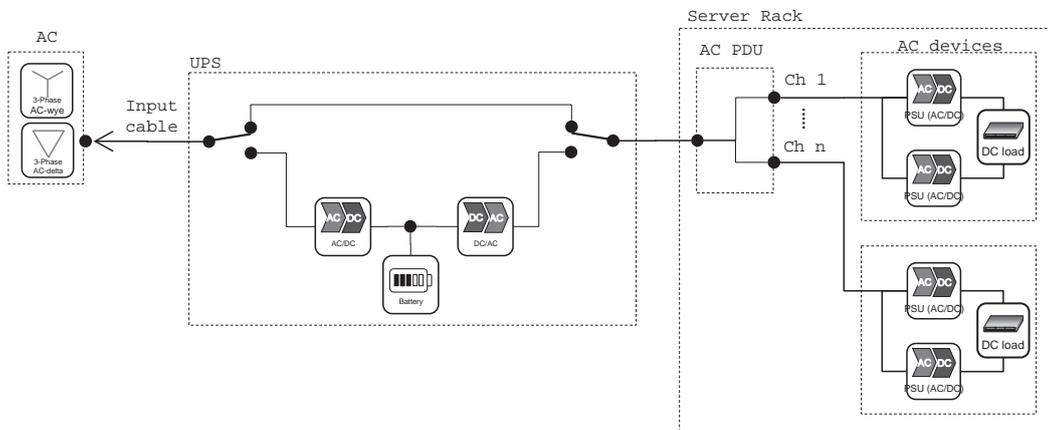


Fig. 1 UPS によるバックアップ

* 株式会社村田製作所

電圧を交流電圧に変換するインバータや停電発生時に ICT 機器を商用電力から前記インバータによって生成された交流出力に切り替えるスイッチを備えたいわゆる Uninterruptible Power-supply System (UPS) をデータセンタに備えて非常時のバックアップが行われてきた。

UPS はデータセンタに限らず広く産業界で使用される機器で入手性もよいのだが、停電発生時に商用電力からインバータ出力に交流電圧を切り替える際に不慮の不具合を経験することが珍しくない。これは必ずしも UPS の不具合とは限らず、実は交流電圧の切り替え時に発生する電圧や位相の不連続等が原因で ICT 機器側が想定外の動作（リセット動作等）を発生している場合も多いのだが、いずれにせよデータセンタとしては深刻な事態に違いない。又、多くのデータセンタでは建物を建設後、サービスの拡充に応じて段階的に ICT 機器を導入していくことが多く、ICT 機器がフルに導入完了するまで UPS の容量が過大になる（しかも蓄電池は経時的に劣化してしまう）ので非経済的であることも課題である。

データセンタのバックアップ手法に大きな変化が見られたのは、筆者が知る限り 2005 年ごろに Google LLC 社が自社のデータセンタに導入を始めたバッテリーバックアップである。Fig. 2 に、同社の特許出願書類（特許出願の名義人は Exaflop LLC 社であるが、実態が Google LLC 社であることが知られている）に開示された図を引用するが、一言でこれを説明すると、ICT 機器の備える電源装置 (AC-DC converter, 170) の直流出力端に蓄電池 (185) を取り付けたというものである。言ってしまうとこれだけであるが、この方式には特筆すべき利点がある。

- ・そもそも ICT 機器は直流電圧（多くの場合は

12Vdc) で駆動するように設計されているのであり、この電圧の蓄電池を直接接続しておけば、インバータ等の複雑な装置を使用せずにバックアップが実現できる。

- ・ ICT 機器の駆動電圧で蓄電池を充電しているので停電時に電圧の不連続が発生しない。又、直流電圧をそのまま利用しているため、停電発生時に位相の不連続も発生しない。
- ・ シンプルで小型であることから ICT 機器毎に蓄電池を搭載することにしたところ、データセンタとしては導入した ICT 機器に必要なだけのバックアップ容量を備えることになり、施設レベルの UPS の例のように過大なバックアップ容量を備える無駄が発生しない。

UPS であろうが、このような蓄電池を直接利用する方式であろうが、停電時に ICT 機器を駆動する電力は蓄電池に蓄えられていることに違いはないのだが、業界では UPS といえば蓄電池にインバータを備えて交流でバックアップする機器又はその方式を指すことが多く、一方で蓄電池を直接利用する方式はバッテリーバックアップシステムと呼ぶことが多い。ただし、広義の UPS にはバッテリーバックアップシステムも含まれるので注意を要する。実際、Fig. 2 では AD-DC converter (170) に蓄電池 (185) や Charge/Discharge Control (305) 等を合わせたものに UPS という名称を与えている。なお、ICT 機器が必要とする電圧は $12V \pm 5\%$ 程度であることが多いため、充電停止電圧と放電終止電圧が大きく離れているリチウムイオン電池を使用することは難しい。典型的なリチウムイオン電池（例えば NCM/Gr の活物質を使用したもの）では、これらはそれぞれ 4.2V、2.5V 等であるので、3 直列にした場合、12.6V ~ 7.5V 程度が電圧範囲になってしまうからである。このため、初期のバッテリーバックアップシステムでは広い State of Charge (SOC) においてほぼ端子電圧が 1.2V 程度であるニッケル水素電池を 10 直列にして利用することが多かったようである。

ところで、現実的な問題として、ICT 機器毎に電源装置を備える方式（後述するが分散電源方式という）では個別の ICT 機器メーカーのそれぞれに対応してバッテリーバックアップシステムを開発することが必要であるから、一部の超大手データセンタオペレータを除いてバッテリーバックアップシステムを採用することが困難であった。しかし、現在では Google LLC 社のデータセンタのみならず、バッテ

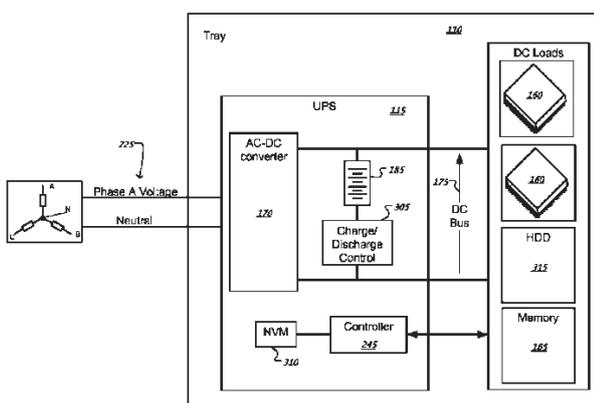


Fig. 2 バッテリーバックアップ (1)

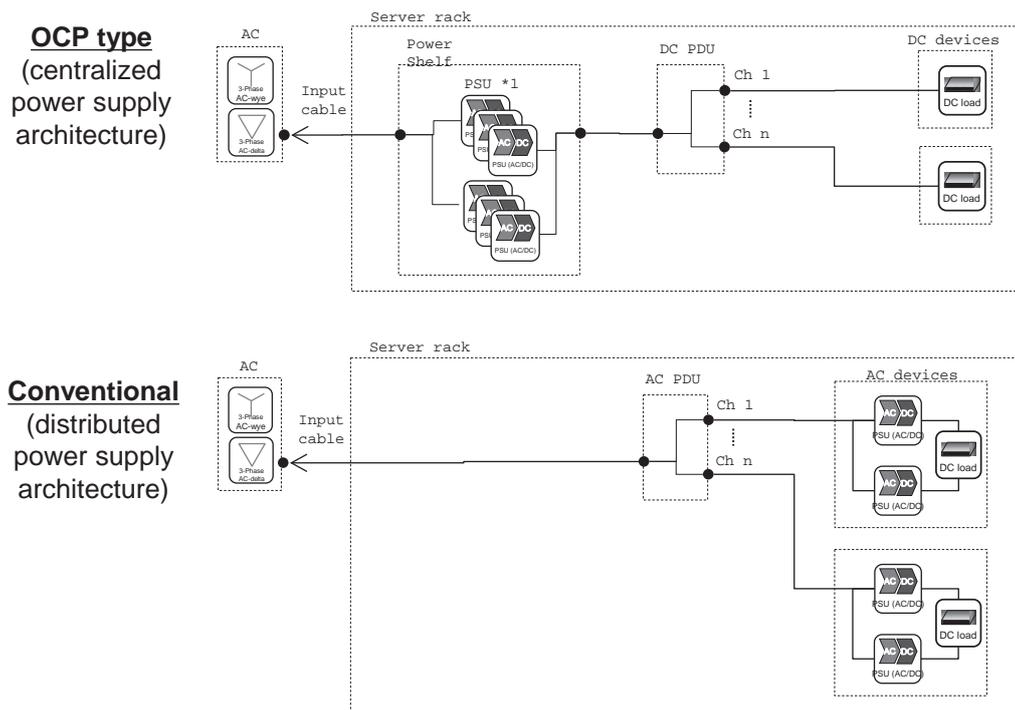


Fig. 3 集中電源方式と分散電源方式

リバックアップシステムがさまざまな事業者のデータセンタで利用されるようになってきている。このように、近年にバッテリーバックアップシステムが普及した背景には ICT 機器への給電の方式の変化が重要な役割を果たしているため、これについて簡単に言及する。

ほとんどのデータセンタでは数多くの ICT 機器を効率よく運用するため、一般にサーバーラックと呼ばれる棚に ICT 機器を搭載する。従来では、サーバーラックに数多く搭載される ICT 機器のそれぞれに交流電圧を直流電圧に変換する電源装置が搭載され、これの出力する直流電圧によって ICT 機器は駆動されており、これを、便宜上、分散電源方式と呼ぶ。電源装置は交流の高い電圧を入力して直流に変換する電気装置であり、電子機器である ICT 機器よりも一般に故障率が高い。電源装置が故障すると ICT 機器も停止してしまうので、これを防ぐために 2 台の電源装置を ICT 機器に搭載し、一方の電源装置が故障しても正常な方の電源装置で動作が継続できる二重冗長電源方式が用いられる。二重冗長電源方式によれば高い信頼性を確保できることは事実であるが、ICT 機器の必要とする電力の 2 倍の容量の電源装置を搭載することになるので経済的には無駄が多い(過剰な冗長構成)ことを否定できない。

これに対し、集中電源方式が提案され、採用例が増えている。分散電源方式と集中電源方式の違いを

Fig. 3 に示す。集中電源方式は、データセンタ用機器の規格を提案している民間団体である Open Compute Project (OCP) も採用している方式であり、ICT 機器自体には電源装置を搭載せず、ICT 機器を搭載したサーバーラックに独立した電源装置(集中電源)を備えてこれによってそれぞれの ICT 機器に直流電圧を供給するという方式である。この方式は、ICT 機器に必要な電力を数台の電源モジュールでまかなうこととし、これに加えて 1 台(又は 2 台)の余分な電源モジュールを搭載することで合理的な冗長構成を実現しようとしたもので $N + 1$ 冗長(又は $N + 2$ 冗長)等と呼ばれる。当社の製品の例では、3kW の電源モジュール 6 台で集中電源を構成する製品があるが、この例では、通常電源容量は電源モジュール 5 台分の 15kW であり、3kW が冗長分である。

集中電源方式には、合理的な冗長構成を実現できるほか、保守性や信頼性、さらには電力変換効率の点でさまざまな利点が存在するのだが、このような点についての説明は割愛する。ここで注目すべき特徴は、集中電源方式では電源装置が出力した直流電圧がサーバーラックに搭載された数多くの ICT 機器に給電されるのであるから、この部分をバッテリーバックアップすればサーバーラック全体のバックアップが実現される点である。

Fig. 4 に集中電源方式におけるバッテリーバック

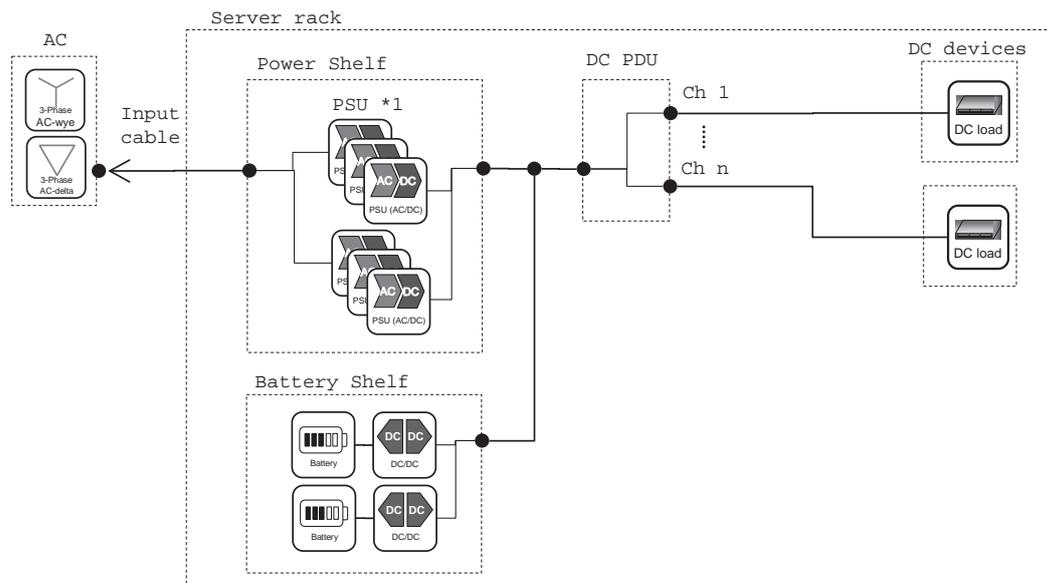


Fig. 4 集中電源方式におけるバッテリーバックアップ

アップの説明のため、当社のバッテリーバックソリューションの例を示した。集中電源方式におけるバッテリーバックアップにはこれ以外の方式も存在しているが、本質的な部分においては変わるところがない。すなわち、蓄電池は経時的に劣化する保守を必要とする部品であり、多数の ICT 機器毎に合わせて多数の蓄電池を設けると保守が困難になってしまう。又、蓄電池は一般に高温下にて劣化が激しいが、ICT 機器に内蔵等すると廃熱の影響で高温となってしまう。そのほか、蓄電池としての本質的な性質が分散電源方式でのバッテリーバックアップにおける課題となっていたのだが、集中電源方式では電源装置がサーバラック内で集中的に配置されるのと同様、蓄電池も集中的に配置することができるので、保守が容易で ICT 機器の廃熱の影響の少ない箇所に配置する等が可能である。又、蓄電池の台数が少なくなるため、蓄電池に合わせて保護回路や充放電回路を無理なく備えることが現実的に行えるようになり、近年飛躍的に性能を高めたリチウムイオン電池を容易に使用可能になったことは最大の利点といえる。

前記 OCP では、電源装置やバッテリーバックアップについての規格も提案している。規格自体は完全に定まったものではなく拘束力もないものの、一定のガイドラインとして機能しており、電源装置やバッテリーバックアップシステムの製造者にとっては開発した電源装置やバッテリーバックアップシステムを多くのデータセンター事業者で使用してもらえると期待できることも集中電源方式におけるバッテリー

バックアップの利点である。

3. データセンターにおける蓄電池活用の動機

データセンターにおいてバッテリーバックアップが使用されることが増えていること、及び、その技術的な背景についてはすでに述べたとおりである。一方、データセンター事業者にとってバッテリーバックアップを導入する動機は古典的なバックアップ用途から多様化しているように見えるので、これについて簡単に紹介する。

3.1 バックアップ

停電時であっても ICT 機器が動作を継続できるように停電時に電力を供給するという最も基本的な機能である。先に述べたとおり、非常時にデータセンターが停止できる場合と稼働を続けなければならない場合に必要なバックアップ時間が大きく異なる。前者の場合は、ICT 機器が安全にシャットダウンするまでの時間のバックアップが求められ、5～20分程度の要求になることが多い。後者では、ディーゼル発電機やガスタービン発電機が起動するまでの時間のバックアップが求められ、数十秒～2分程度の要求になることが多い。

3.2 インラッシュ電流アシスト

ほとんどの ICT 機器の入力部にはキャパシタ（又はこれを含む電源フィルタ）が備えられていること等により、電源投入直後には大電流が流れ込む（インラッシュ電流）。電源装置にとっては、電源投入直後に大電流を出力しなければならないのだが、これが電源装置の容量を超えると過電流保護が働いて

しまい、システムの起動に失敗する恐れがある。ICT 機器側ではインラッシュ電流のピーク値を下げる工夫がなされ、電源装置側でも起動直後に一時的に大電流出力を許容する等の対策がなされているものの、サーバーラックにどれだけの数の ICT 機器が搭載されるかは予測が難しく、しばしば問題が発生している。もちろん、電源装置に電力容量に余裕のある強力なものを選択すれば問題は解決するが、定常時に決して使用しない大きな電力容量の電源装置を使用することは通常、経済的に合理的ではない。

ここで、バッテリーバックアップシステムを搭載している場合、電源投入後の短時間に限ってバッテリーバックアップシステムからも電流を供給することができる。バッテリーバックアップシステムはサーバーラックに搭載されるすべての ICT 機器を一定時間バックアップする電力容量を備えているのであるから、これによって電源容量がちょうど2倍に強化されることになる。加えて、バッテリーバックアップシステムから供給される電力はあくまでも内蔵する蓄電池からの放電でまかなわれるので、商用電力側（分電盤等）に過負荷をかけない点でも優れている。一般的に電源装置よりも高価なバッテリーバックアップシステムをめぐって発生しない停電時のバックアップ以外の目的にも活用したいと考える事業者は多く、このような機能は今後バッテリーバックアップシステムにとって当たり前のオプション機能になるかもしれない。

3.3 ICT 機器の活線挿抜時アシスト

集中電源方式を採用したサーバーラックでは、故障発生時に備えて実質的にすべての電気・電子機器が通電状態で取り付け・取り外し可能とされている。これは、サーバーラックに設置した箱状の筐体（シェルフ）の開口部（スロット）に電気・電子機器を差し入れたり抜き取ったりすることで行われるので、活線挿抜等と呼ばれている。問題は、ICT 機器をスロットに差し入れた際にインラッシュ電流が発生する点である。一台の ICT 機器に発生するインラッシュ電流であるから、電流値そのものではサーバーラック始動時のインラッシュ電流よりもはるかに小さいものの、すでに電源装置は一時的な大電流の許容をしていない状態であるから、まさに虚を突かれる形で過電流保護が働いてサーバーラックが停止してしまう事故が起り得るのである。加えて電源装置の起動時には出力電圧が徐々に上昇しこれに合わせて ICT 機器の入力容量も徐々に充電されるころ、活線挿抜の場合はいきなり全電圧が掛かるために

インラッシュ電流がむしろ大きいところも問題である。

この場合も、活線挿抜時にバッテリーバックアップシステムからの放電を許可しておくことで電源装置の過電流保護が働いてしまう事態を確実に防止することができる。ただし、電源装置の起動時と異なり、活線挿抜が発生することを電源装置やバッテリーバックアップシステムに知らせる仕組みが必要である。

3.4 ピークアシスト

一般に ICT 機器の負荷率が 100% に達することはまずない。一般的なサーバーの例では、OS 起動後に一とおりのデーモン（又はサービス）を起動等するまでは非常に高い負荷率となるが、この後は負荷が大幅に軽くなるケースが多い。近年では仮想化技術を駆使して ICT 機器の負荷を高いレベルで一定に維持することも試みられているが、ICT 機器の負荷はその機器で提供されるサービスの利用者によって左右される場合が多く、平均負荷率は 100% からかけ離れた値になることが多い。このような場合でも、普通であれば電源装置やこれに電力を供給する商用電力（分電盤等）は 100% の負荷率に対応できる容量を搭載しなければならないが、これは経済的に合理的でないので、平均負荷に近い容量の少ない電源装置を使用して、一時的に負荷率が高い時にはバッテリーバックアップシステムからの電力で補おうという考え方がある。電力グリッドにおけるいわゆるピークシェービングとほぼ同様の考え方であり、近年に相談を受けることが多くなった用途である。しかし、実際の適用においてはバッテリーバックアップシステムから電力を補える時間は有限である（通常数分）ことや、この目的で、蓄電池に充電された電力を必要以上に使用してしまうと、停電発生時のバックアップ時間が短くなってしまうこと、さらに、充放電を繰り返すことになることから蓄電池の劣化が進みやすいことといった課題がある。このように現在では未解決の課題がいくつも残っているため、当社のバッテリーバックアップシステムでも機能としては備えているものの、現実的な活用ができていない状態である。要求が高まっている機能であるので、今後利用可能な電力に応じて ICT 機器の負荷率を制御する標準的な手法が利用可能になれば活用されるようになるのではないかと予想している。

4. 注目すべき技術・市場

4.1 48V 系 ICT 機器

Fig. 4 を参照すれば、集中電源方式のバッテリー

バックアップシステムでは蓄電池にDC-DCコンバータを備えていることが分かる。この理由は、すでに述べたとおりであるが、ICT機器が通常要求する12V ± 5%の電圧範囲に対してリチウムイオン電池の充電停止電圧と放電終止電圧が大きく離れすぎているために、リチウムイオン電池をDC-DCコンバータを介さずにICT機器に接続することが困難だからである。

しかし、最近になって12Vではなく48V前後で駆動されるICT機器が注目されている。一般に48V系等と呼ばれることが多いようであるが、推奨入力電圧は52V前後で動作電圧範囲は54V～40V程度であることが多いようである。高い電圧を使用することで導電損失が小さくなるため、近年消費電力が増大しているICT機器への給電が容易になる利点は顕著であるが、ここでは異なる点に着目する。

Fig. 5に典型的なリチウムイオン電池（正極活物質NCM、負極活物質Gr）を13直列した電池パックの充放電特性の一例を示す。グラフから明らかなおおりの48V系ICT機器の動作電圧である54V程度ではほぼ満充電となり、停電等して放電が始まると、48V系ICT機器の動作下限電圧である40V程度ではほぼ充電容量を使い果たすことがわかる。これは、DC-DCコンバータのような電圧変換装置を用いないシンプルで安価なバッテリーバックアップシステムが実現可能であることを示唆しており、48V系ICT機器が一般化すれば広く採用されるようになると予想している。

4.2 リン酸鉄リチウム正極リチウムイオン電池

純粋に停電時のバックアップ用途であれば、バッテリーバックアップシステムが製品のライフサイクルにおいて経験する充放電回数は数十回程度で、その大半は機能試験（定期点検等）の際に経験する充放電サイクルであろうと予想される。しかし、すでに

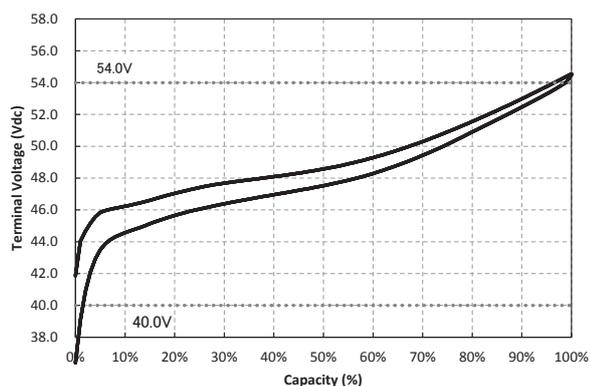


Fig. 5 リチウムイオン電池パックの充放電特性例

説明したとおり、ICT機器の活線挿抜時のアシストや、さらにはピークアシストといった機能を活用しようとする、蓄電池はおびただしい回数の充放電サイクルを経験する可能性がある。当社の製品を含む現在のほとんどのバッテリーバックアップシステムは容量や価格の点で優れたNCM系活物質を正極に使用したリチウムイオン電池を採用しているが、このリチウムイオン電池はサイクル寿命に劣り、充放電を繰り返すと急激に容量低下してしまう。

一方で、リン酸鉄リチウム活物質を正極に使用したリチウムイオン電池も存在し、容量や価格の点では多少劣るものの極端に優れたサイクル寿命を有しており、数千回の充放電サイクルを経てもその劣化はごくわずかである。つまり、データセンタ用途で発生し得る充放電サイクル数を実質的に無視できるほどのサイクル寿命を備えている蓄電池が現に存在しており、将来的に前記のようなバックアップ用途以外の用途に対して利用が拡大するものと予想している。

5. 再生可能エネルギーの利用に向けて

太陽光発電に代表される再生可能エネルギーの活用が叫ばれて久しく、大電力を消費するデータセンタにおいても再生可能エネルギーを活用する努力が払われている。もっとも、多くの再生可能エネルギーの抱える大きな問題点のひとつがその不安定さにあることは周知の事実であり、無停止で安定に連続稼動することが不可欠なデータセンタへの再生可能エネルギーの導入にはさまざまな注意を要する。例えば、夜間や雨天における太陽光発電の発電停止・発電量不足を補うため商用電力とのリンクが行われるが、交流電力のリンクはしばしば事故の原因になるものであり、特段の注意が必要である。

この点においては、一般的な三相交流電圧による電力伝送をするのではなく直流電圧による電力伝送を行う方式が本格的に実用に供されており、技術的な優位性ゆえに注目される。このようなシステムの例としては、さくらインターネット株式会社が同社の石狩データセンタに導入した直流給電システムが挙げられる。Fig. 6は、このシステムの概要を示す図を同社のプレスリリース資料⁽²⁾から引用したものである。

このシステムの特徴は、商用電力を整流器で直流380V程度に整流すると共に、太陽光発電ではこれよりもやや高い電圧を発電し、これらを逆流防止装置を介して接続したところにある。要は、太陽光発

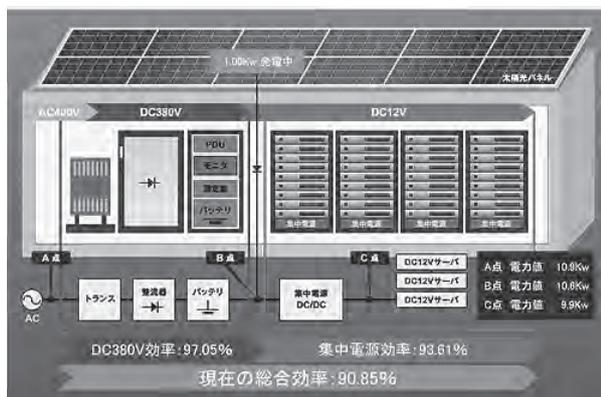


Fig. 6 さくらインターネット株式会社 HVDC 給電システム⁽²⁾

電側に適当な電圧のドロップ特性を持たせることで直流リンクを実現したものであり、太陽光発電の出力が低下したりした場合にはその電圧が下がり、不足した電流が自然に商用電力側から補われるというシンプルかつ合理的なものである。ところで、このようなシステムでも蓄電池を用いたバックアップは必須であり、この例では商用電力を整流して得た直流 380V に直接蓄電池を接続しているとのことである。インバータ等の機器を用いずに蓄電池をそのままに接続してバックアップを実現できるシンプルさは直流利用の大きな利点といえるだろう。

なお、直流 380V はあくまでも電力をデータセンタ内でサーバーラックに伝送する段階の電圧であり、これはサーバーラックに搭載された集中電源装置によって 12V に変換され、ICT 機器によって利用されることは先の例と同じである。再生可能エネルギーと商用電力のリンクの観点でさくらインターネット株式会社の例を取り上げたが、同社によると、このシステムの導入により電力の利用効率の向上も図られたとのことである。

これに限らず、直流給電は利用できる機器・装置が交流給電と比較して限られている等の課題はあるものの、太陽光発電に代表される再生可能エネルギーの利用や商用電力とのリンクにおいては明らかに有利な点が多く、徐々に普及が進むであろうと期待している。

6. まとめ

データセンタにおける蓄電池の利用が、従来から用いられている UPS に使用されることに加えて、いわゆるバッテリーバックアップシステムに使用されるようになってきていることを説明し、さらに、筆者の知る範囲でデータセンタ事業者が単なるバックアップ以上の機能をバッテリーバックアップシステム

に期待していることを紹介した。

合わせて ICT 機器への給電方式として従来から用いられている分散電源方式に加え、集中電源方式が広く使われるようになっており、これがバッテリーバックアップシステムと親和性が高いことを説明した。

又、従来の交流給電に代えて直流給電を行うことで商用電力と再生可能エネルギーのシンプルかつ合理的なリンクを行うと共に蓄電池を組み合わせたシンプルなバックアップ機能を実現し、これに前記集中電源方式を組み合わせることで効果的にデータセンタを運営しているさくらインターネット株式会社のデータセンタの例を紹介した。

このように見てみると、はじめから意図していたものではないのであろうが、従来のデータセンタの方式からいくつもの段階を経て、データセンタの方式が徐々に再生可能エネルギーとの親和性を高めてきているように見えるのが面白いところである。技術的には準備がほぼ整っていると思え、将来に蓄電池等のコストがさらに下がれば、さくらインターネット株式会社の例のようなデータセンタ又はその進化形が数多く利用されるようになるのではないかと楽しみである。

参考文献

- 1) William Whitted, et al., United States Patent Application Publication US 2008/0030078 A1, Fig. 3
- 2) さくらインターネット, さくらインターネットプレスリリース「さくらインターネット, 高電圧直流 (HVDC) 給電システムに太陽光発電を導入～石狩データセンターの実地検証環境に太陽光パネルを設置し, 評価検証を実施～」(2012/5/8), <https://www.sakura.ad.jp/information/pressreleases/2012/05/08/90065/>