

# 情報通信用給電システムの変遷と今後の課題

取締役 EHS&S 研究センター上級研究員 兼 通信エネルギー技術本部長  
EHS&S 研究センター上級研究員 兼 エネルギー技術部担当部長  
エネルギー技術部長

山下 隆 司  
室山 誠 一  
山崎 幹 夫

Keyword：情報通信，給電システム，交流給電，直流給電，整流装置，UPS，集中給電，分散給電，HVDC，パワールーティング

## 1. はじめに

情報通信サービスは、電話に始まりデータ通信、携帯電話、インターネットへと発展を続けてきており、これらのサービスを支える通信インフラもサービスの発展に合わせて複雑化や規模の拡大を続けてきた。これら通信インフラは電気エネルギーで動作しており、電源が供給されなければ動作しないことから、電源供給は通信サービスを支える重要な要素である。電話の時代から、特に災害時における通信の重要性が認められてきたが、データ通信サービスからインターネットの時代においては、これらの停止は即社会システムの停止につながり、通常の生活が成り立たなくなることから、通信インフラの信頼性（常に正常に動作すること）は非常に重要な要素となっている。したがって通信インフラ用の給電システム（情報通信用給電システム）は、給電を止めないという信頼性を第一条件として設計されてきた。それと同時に情報通信用給電システムは、24時間365日動作を続けるため高い給電効率（低い発生損失）と、小型であることも要求され、これらの要求条件を満たすための研究開発が続けられてきた。

図1は現在までの約50年における、交換機を代表とする通信システムの変遷と給電システム技術の概要を示している。交換機は電磁スイッチによるクロスバ交換機から半導体・LSIによる電子交換機～ATM交換機、NGN時代のルータへと変遷し、収容加入者数の大規模化・複

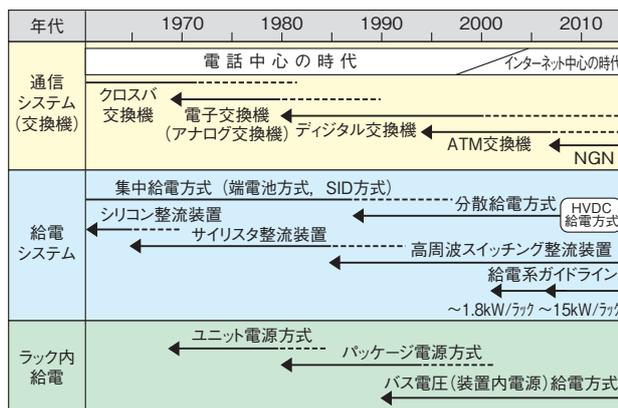


図1 通信システムの変遷と給電技術

雑化・装置当たりの消費電力増加が進んだ。それに合わせて、給電システムは、高信頼性を維持しながら高効率・小型・経済化を図るため技術開発が進められた。

本稿では、まず情報通信用給電システムの基本構成を示し、交流給電と直流給電の違いに触れたあと、これまでの情報通信用給電システムの改良点とシステム構成・要素技術の変遷について述べ、今後の課題と方向性について明らかにする。

## 2. 情報通信用給電システムの基本構成

情報通信用給電システムの基本構成を図2に示す。交換機や伝送装置などの通信設備には直流48Vによる給電が行われており、商用電源を受電し、変圧器で交流200Vに降圧後、整流装置で直流48Vに変換して分電盤経由で給電される。情報処理装置（コンピュータシステム）には交流200Vによる給電が行われており、交流無停電電源装置（UPS：Uninterruptible Power Supply）から分電盤経由で給電される。長時間停電に対応するためエンジン発電装置が設置され、短時間停電（エンジン発電装置の始動時間を含む）には整流装置出力側に接続された蓄電池や、UPSの蓄電池で対応する。その他、通信設備にはその設備が停止しても通信そのものは影響を受けない通信付帯設備があり、交流100Vや200Vで給電されている。

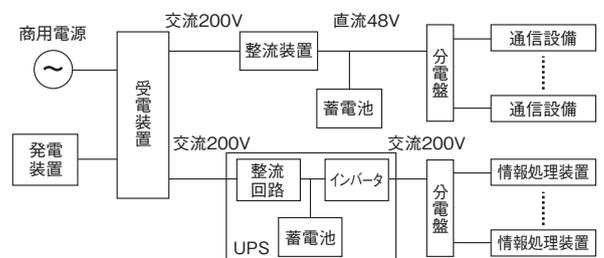


図2 情報通信用給電システムの基本構成

通信設備向け直流給電システムは、給電規模が1システム当たり100kW以下で、最も高い給電信頼度とともに、全国規模で大量の設備が常時動作しているため低損失が要求される。情報処理装置向け交流給電システムは、給電規模が最大2,000kVAと大きく、高い信頼度が要求さ

れる。通信付帯設備向け交流給電システムは、小規模で比較的低い信頼度を許容する。これらの給電システムの使い分けイメージを表1に示す。

表1 給電システムの使い分け

通信設備向け (直流48V給電)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高い給電信頼度を要求</li> <li>・給電規模は100kW/システム以下</li> <li>・全国で常時動作のため低損失(高効率)を期待</li> <li>・専用装置(交換機, 伝送装置等)</li> </ul>
通信付帯設備向け (交流100/200V給電)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・低い給電信頼度を許容</li> <li>・汎用装置</li> </ul>
情報処理装置向け (交流200V給電)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高い給電信頼度を要求</li> <li>・給電規模は最大2,000kVA</li> <li>・汎用装置</li> </ul>

### 3. 交流給電と直流給電

交流給電と直流給電の違いについてもう少し詳しく述べる。交流給電システムと直流給電システムの構成比較を図3に示す。交流給電システムのUPSは、交流入力がある場合は整流回路出力の直流電力をインバータで交流に変換して出力するのに対して、交流入力がない場合は蓄電池を電力源としてインバータで交流出力を継続する。直流給電システムでは、交流入力がある場合は整流装置から直流電力を出力するのに対して、交流入力がない場合は蓄電池の直流電力をそのまま出力する。両者を比較すると、交流給電システムは整流回路やインバータなどの変換回路すなわち部品点数が多い上に、変換回路故障時のバイパス回路切り替え時に正弦波状の位相・電圧・周波数の3要素を一致させる必要があり、そのために必要な検出・制御回路の部品点数を考慮すると、故障確率が高くなる。直流給電システムは、整流装置故障時には直流電圧の大小のみで蓄電池給電に切り替わり、切替失敗の故障に関係するのは整流装置出力側のダイオードと蓄電池のみであり、故障確率を低く抑えられる。

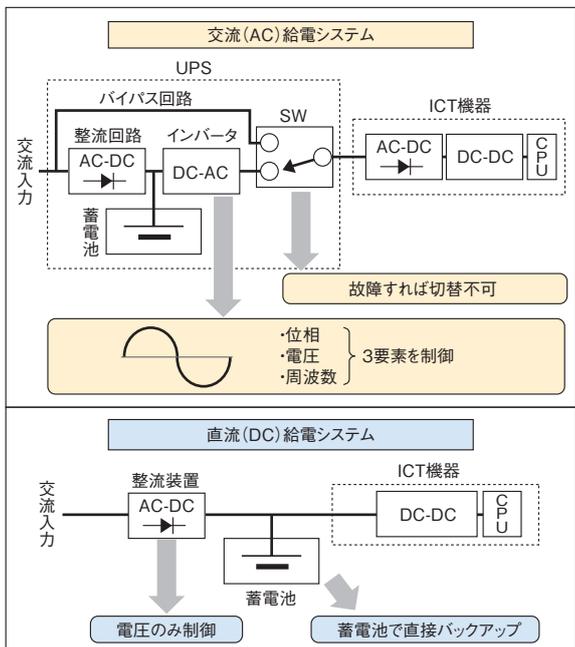


図3 交流給電システムと直流給電システムの構成比較

交流給電と直流給電の故障確率の違いは、図4の信頼度モデルで表すことができる。直流給電システムでは蓄電池の信頼性が給電信頼度を支えており、蓄電池の管理をしっかりとっておけば、給電系は高い信頼度を維持することができる。それに対して交流給電システムでは、蓄電池単独では信頼性を支えることができず、バイパス回路に切り替えるための共通部（検出・制御回路）が全体の信頼性を左右する形となっており、交流給電システムの信頼性を低下させる要因となっている。NTTグループにおける交流給電と直流給電の不稼働率の比較を図5に示す<sup>1,2)</sup>。直流給電の不稼働率が交流給電のそれに比べて1桁以上低い（信頼度が高い）ことがわかる。

図6は給電先のICT装置内部まで含めた構成比較で、交流給電と直流給電の損失発生要因を示している。交流給電は変換回路数が多いことにより各回路での損失が加算される上に、分電盤内部の変圧器で電圧変換する場合もあるため、全体での損失が大きくなる傾向にある。

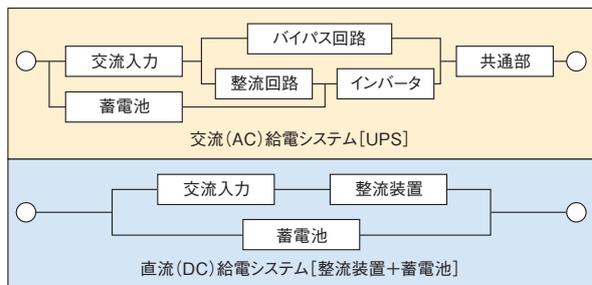


図4 交流/直流給電システムの信頼度モデル

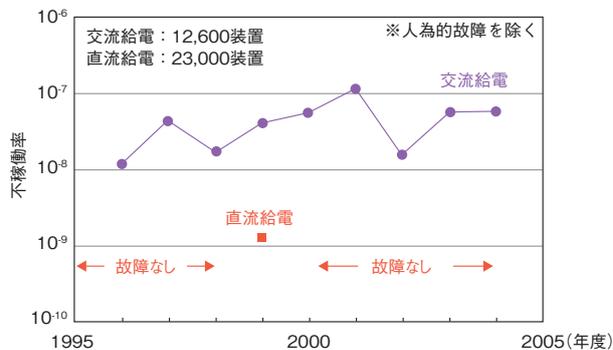


図5 交流給電システムと直流給電システムの稼働率

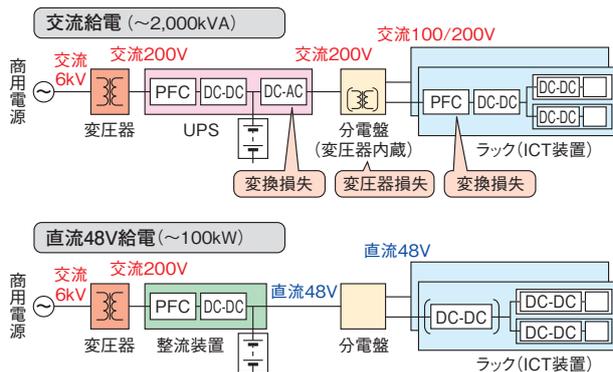


図6 交流給電システムと直流給電システムの損失比較

## 4. 通信用直流給電システムの変遷

### 4.1 集中給電と分散給電

初期の通信用直流給電システムは、図7(a)に示すような集中給電であった。この方式では、通信用建物の電力室に受電装置、非常用発電装置、整流装置、蓄電池が集中設置され、発生した直流48Vの電力を機械室に給電していた。この方式では電力設備が電力室に集中設置されているため管理面では容易となるが、通信設備の消費電力が増大すると、給電用のブスバー（銅板やアルミ板を何枚も重ねた給電導体）のスペースが増大したり、整流装置の故障が建物全体に波及するなど、信頼性上の問題もあった。

分散給電方式は、1985年に従来の整流装置を大幅に小型化できる高周波スイッチング整流装置が開発されたのを契機に導入された。図7(b)に示す分散給電方式では、受電装置、非常用発電装置は電力室に設置するが、整流装置と蓄電池は通信用建物のフロアごとや通信システムごとに設置する。直流48Vによる給電電流と給電距離が低減できるため給電ケーブルが使用でき、給電スペース削減や電圧降下による配線損失が低減できる効果があるとともに、整流装置や蓄電池の故障波及範囲が限定されるという特徴もある。分散給電方式の特徴をまとめると、表2のようになる。

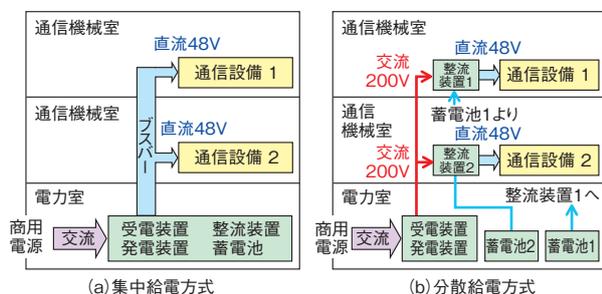


図7 集中給電方式と分散給電方式

表2 分散給電方式の特徴

信頼性の向上	故障時の影響範囲の縮小
経済化	配線損失の低減 整流装置の高効率化 量産効果による設備コスト低減 設備容量の最適化
施工性の向上	整流装置の小形・軽量化 配線のケーブル化

### 4.2 整流装置の変遷

集中給電の時代には、大容量のシリコン整流装置やサイリスタ整流装置が用いられていた。これらの整流装置は、図8に示すように、交流の200Vを変圧器で電圧変換し、シリコンダイオードやサイリスタで整流後、平滑フィルタで直流48Vを得ていた。出力電圧の安定化は、可飽和リアクトルによる電圧制御やサイリスタの位相制御により行われていた。これらの整流装置を構成する変

圧器や平滑フィルタ、可飽和リアクトルは、50~60Hzという商用周波数で動作するため、体積・重量とも非常に大きくなり、整流装置は蓄電池とともに地下や1階の電力室に設置せざるを得なかった。

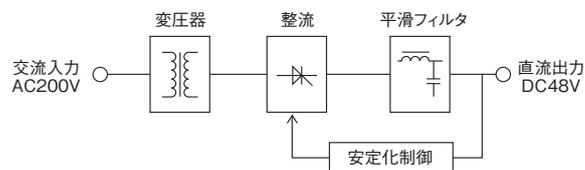


図8 サイリスタ整流装置の構成

その後、高速・高耐圧のパワートランジスタが開発され、数kWの電力を20kHz程度の高周波でスイッチングできるようになり、図9に示すような高周波スイッチング整流装置が開発された。本整流装置では、商用交流を整流して直流にした後、パワートランジスタで高周波のパルス状の電圧を発生（スイッチング）し、高周波変圧器で変圧後、整流し、平滑フィルタで安定な直流48Vを出力する。出力電圧は、高周波パルス電圧の時比率を制御することにより安定化する。高周波変圧器や平滑フィルタは、スイッチング周波数に反比例して小型化できるため、従来の整流装置と比較して1/3の体積で実現でき、変換効率も従来の80%から90%に向上した。これにより、先に述べたような分散給電方式が進展した。

整流装置はその後、強制空冷方式の導入による小型化、低損失なソフトスイッチング回路の導入による高効率化、力率改善回路による高調波抑制などの改良が進められ、1996年には効率92.5%、力率0.95以上、1ラック構成で20kW出力の装置が実現された。

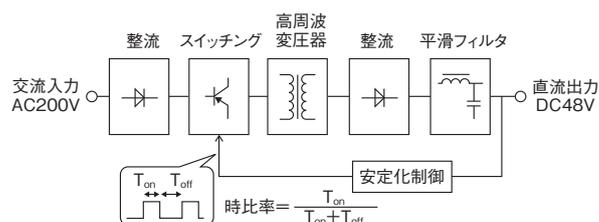


図9 高周波スイッチング整流装置の構成

### 4.3 ラック内給電方式の変遷

直流48Vで通信装置ラックまで給電された電力は、ラック内でさらに通信装置ユニットや通信装置パッケージに分配されて給電される。ラック内給電方式の変遷を図10に示す。アナログ交換機の時代には、ラック当たりの消費電力が500W~1kW程度と小さく、通信装置ユニットが必要とする電圧も5V、12Vと比較的高かったため、ラック下部にユニット電源（DC-DCコンバータ）を集中設置して給電していた（図10(a)）。各通信装置ユニット共通で給電し給電電流が大きくなるため、給電線は銅のブスバーが用いられた。通信装置ユニットの消

費電力が増加してくると、通信装置ユニットごとに電源（DC-DCコンバータ）を個別に対応させて給電し、ケーブルを用いることにより施工性向上が図られた（図10（b））。

デジタル交換機の時代になると、通信装置ユニットの直近にパッケージ電源（DC-DCコンバータ）を設置し、5V等の給電を最短距離で行う方式が導入された（図10（c））。この方式ではラック当たりの消費電力が増大しても、ラック内は48Vという比較的高い電圧で給電するためケーブル配線が使用でき、低電圧の供給ラインが短いことによるノイズの影響を回避できるなどの特徴があった。

デジタル交換機からATM交換機の時代になると、通信装置は集積度が向上し、ラック当たりの消費電力がさらに増大するとともに、高速・低損失動作を実現するため電源電圧が3V、2Vと低下し、電圧の種類も増える傾向となった。このため、DC-DCコンバータは装置パッケージ内に組み込むオンボード型となり、装置パッケージまで48Vで直接給電する方式となった（図10（d））。現在ではこの方式がほぼ主流である。

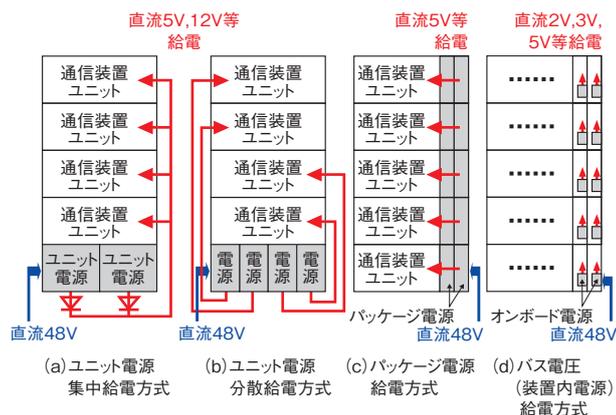


図10 ラック内給電方式の変遷

## 5. 近年のネットワークの変化と給電システム

### 5.1 ネットワークの変化による影響

固定電話による音声中心のサービスから、近年は映像・データも含めた高速インターネットサービスの時代になり、通信用建物には従来の交換機や伝送装置にかわってルータやサーバーなどのIP系装置が次々と導入されるようになった。従来の電話網とIP網の違いを表3に示す。

給電方式に関しては、従来は直流給電主体で、通信システムやサービスごとに整流装置を設置する分散給電を適用することができた。それに対してIP網では、交流給電も必要であり、さらに通信システムやサービスごとの切り分けが困難なため分散給電の考え方が適用し難くなってきた。また、従来は通信設備のシステム規模で要

求信頼度（規模別信頼度）が規定され、給電システムに対しても信頼度が設定されていたが、このような規模別信頼度の考え方がなくなり、給電システムに対しては「止まることを想定していない」ような高い信頼度を期待される傾向がある。通信装置1ラック当たりの消費電力についても、従来装置がラック当たり1.8kW未満であったのに対して、15kWに達するものもあり、より大電力を高効率で安定して給電することが必要となった。

表3 電話網とIP網の比較

	電話網	IP網
信頼度	ギランティー型	ベストエフォート型
帯域	狭帯域	広帯域
情報の種類	音声（電話）	音声・映像・データ
コスト	高	低
給電方式	直流給電主体 分散給電	直流/交流給電 分散給電困難
消費電力	～1.8kW/ラック	～15kW/ラック

### 5.2 通信装置の消費電力増大に伴う課題

通信装置の消費電力増大に伴う課題を図11に示す。まず給電電流が増大することにより給電ケーブルが太くなり、配線スペースを大きく取る必要があることや施工性が悪化する。また、通常は分電盤にヒューズを設け、通信装置側で短絡事故等が発生した場合にはそのシステムを切り離すが、電流値が大きいとヒューズ遮断時間が長くなって電圧低下が大きくなったり、ヒューズ遮断後の電圧サージの発生により、正常なシステムの通信装置にも影響を与える「共倒れ」の危険性が増加する。また、給電線のインダクタンスと通信装置電源入力部のコンデンサが影響して発生する給電電圧の不安定現象があるが、給電電流が増加することによってこの不安定現象が発生しやすくなるという傾向がある。

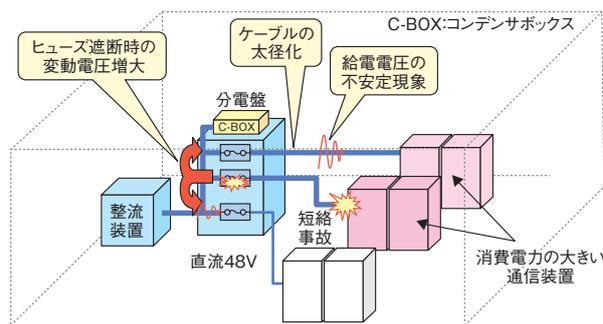


図11 通信装置の消費電力増大に伴う課題

### 5.3 直流給電系の不安定現象

直流給電系の不安定現象の発生イメージを図12に示す。1階にある電源装置（整流装置）より直流48Vで各通信装置に給電されている状態で、たとえば使用しなくなった通信装置を電源系から切り離れたとき、電源装置から比較的離れた位置にある通信装置電源の直流48Vに、図に示すように正弦波状の電圧が重畳し、通信装置が電圧低下で停止したり、過電圧で故障するといった現象が現

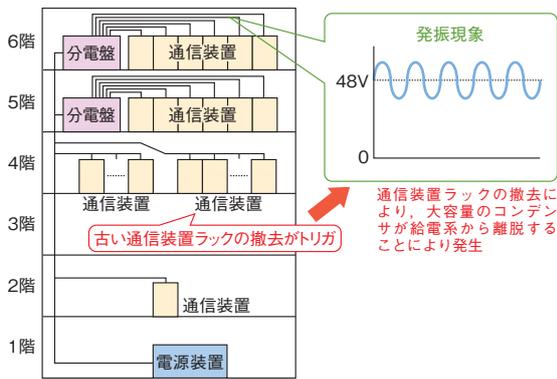


図12 直流給電系不安定現象の発生イメージ

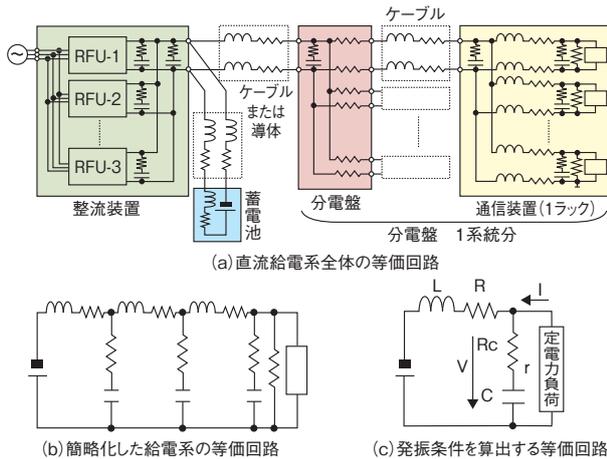


図13 直流給電系の等価回路

われる。

この発生原理は、図13のように給電系全体を等価回路で表すことで説明できる。まず図13 (a) は給電系全体を等価回路で表わしたものであるが、ケーブルのインピーダンスが比較的小さいことから、複数の通信装置ラックをまとめて簡略化する (図13 (b)) と、最終的には図13 (c) のように表すことができる。本等価回路で、L、R は給電ケーブルのインダクタンスと抵抗を表現したもの、C は通信装置電源入力端のコンデンサ容量の合計値であり、Rc はその等価直列抵抗、定電力負荷は DC-DC コンバータを入力側に持つ通信装置を表現したものである。

本等価回路で、定電力負荷端において正弦波状の発振が継続する条件を求めると、給電電圧を V、給電電流を

I として、

$$\frac{V}{I} < \frac{L+C \cdot R \cdot R_c}{C(R+R_c)}$$

となる<sup>3)</sup>。すなわち給電電流 I が増加すると発振しやすくなることがわかる。逆に給電系の安定化を図る (発振し難くする) ためには、コンデンサ容量 C を大きくすることで実現できる。このため、現在では給電ケーブルの配線条件 (使用ケーブル径、最短配線長、最大配線長) や最大電流を規定した上で、必要なコンデンサ容量を算出し、その容量のコンデンサを分電盤等に配置することによって給電系の安定性を担保している。

### 5.4 高電圧直流給電

通信装置の消費電力増大に伴う課題の解決策として、給電電圧を直流48V から約400V に高電圧化した高電圧直流 (HVDC: High Voltage Direct Current) 給電システム (図14) が導入段階を迎えている<sup>4, 5)</sup>。本給電システムは、給電電圧を高くすることにより給電ケーブルを約1/10に細径化でき、ケーブルスペースの削減や施工性向上が図れると同時に、ケーブルによる給電損失が減少でき、同一の給電電力で電流値を約1/8にできることから給電系の安定性も向上する。整流装置は、回路構成や実装方法の見直し、装置内配線の細径化、端子部の小型化・コネクタ接続化により高出力化し、1ラックで105kWの大容量を実現している。

直流給電方式は、先に述べたように全体の構成がシンプルであるため、高信頼で高効率の給電が可能であるが、これまでは給電電圧が48V と比較的低かったために、大容量のシステムには向かない傾向があった。しかしながら給電電圧を400V に高電圧化したことにより、通信設備に限らず、データセンターなどの大規模システム向けの給電方式としても、今後有望な方式と言える。HVDC 給電方式に関しては、今後は給電電圧の標準化や HVDC 仕様通信装置の普及、HVDC 仕様通信装置の本格普及までの過渡状態で必要なマイグレーション設備 (部分的に直流48V 等を必要とする設備への給電手段) の提供などが課題である。

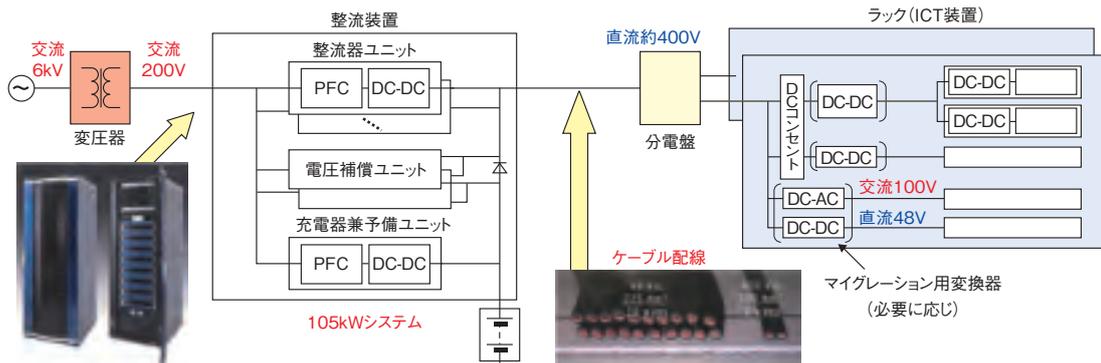


図14 高電圧直流給電システム

## 5.5 交流給電の高信頼化

今後の情報通信用給電システムとして HVDC 方式は有力な方式であるが、その一方で、交流を電源とする IP 系装置が集中的に導入される可能性もあり、交流給電の信頼性を向上させる必要がある場合も想定される。交流給電で直流と同等の信頼度を実現する方法としては、図15に示すような二系統給電がある。

交流給電が直流給電に対して信頼度で及ばないのは、給電装置（UPS）側で冗長構成を取ったとしても、故障装置を切り離したり正常装置に切り替える機能が、直流給電と比較してどうしても複雑になるためである。交流二系統給電では、一系統が給電停止した場合の別系統への切り替えを ICT 機器内部の直流レベルで行えることがポイントである。この場合、系統切り替えに関与する素子はオアダイオードのみであり、このダイオードの故障率は非常に小さくできるため、高い信頼度を確保することができる。

ICT システム全体で高信頼を実現するためには、システム信頼性に寄与するすべての ICT 装置の電源を二系統にする必要があるが、現実的には使用電力の小さい装置では二系統電源を持たないものもある。したがって、ICT システム側の冗長設計で信頼性を向上する施策と組み合わせるなど、電源構成だけに頼らない注意深い設計が必要となる。

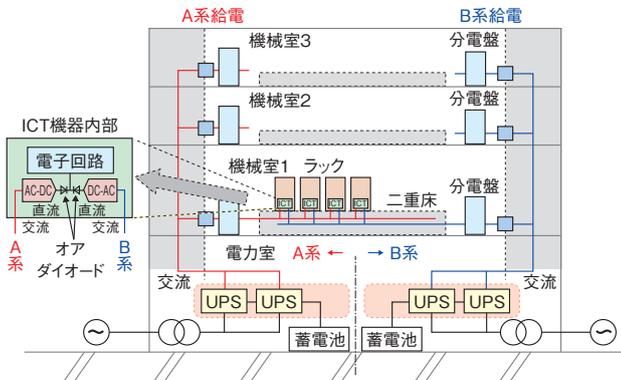


図15 交流給電の高信頼化手法（二系統給電）

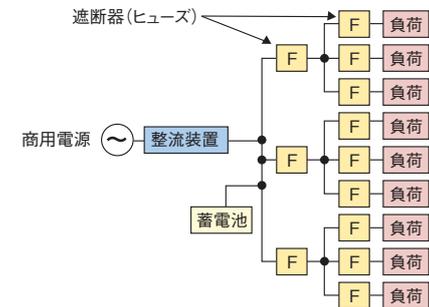
## 6. デバイスイノベーションとパワールーティング

最近、シリコン（Si）を凌駕する次世代半導体素子として炭化ケイ素（SiC： Silicon Carbide）によるパワー素子の開発が進展している。SiC 素子は、Si 素子と比較して高耐圧・低オン抵抗で高速動作が可能という特徴があるため、電源装置内部に使用することにより装置の小型化や低損失化が期待できるが、ここでは給電系の変革に寄与する可能性について述べる。

これまでの給電系は、図16（a）に示すように電源装置（整流装置）からヒューズ等の遮断器を経由して負荷

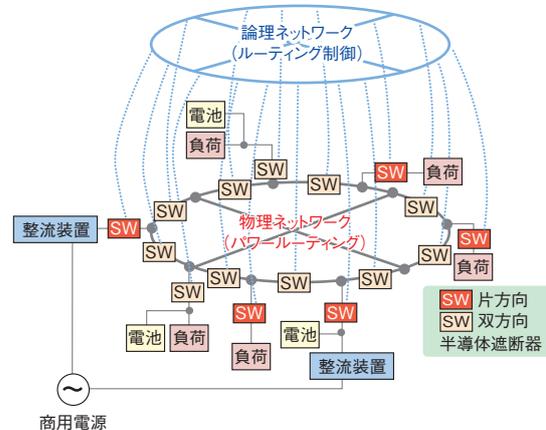
である通信装置等に給電されている。ちなみに直流給電系では、負荷側短絡等の事故発生時に、他の正常系統に影響がないように事故系統を切り離すためには、機械的な遮断器ではその遮断速度に限界があり、高速のヒューズを用いる必要があった。SiC 素子の特性を活かした半導体遮断器が実現できれば、ヒューズ並みの高速遮断や、遮断速度を制御することが可能になるため、他系統に影響を与えないような高速遮断や、逆に遮断時に発生するサージ電圧を抑制するような遮断が実施できる。また、ヒューズと異なり遮断後の再接続も容易に行えることを考慮すると、現状のツリー状の給電系におけるメリットに留まらず、新たな給電系構成の可能性が膨らむ。すなわち図16（b）に示すように、電源（整流装置）と蓄電池、負荷装置などをメッシュ状に接続し、負荷装置への給電ルートを半導体遮断器で自由に設定する、いわゆるパワールーティングが実現できる<sup>6)</sup>。これにより、複数の給電ルートを設定することによる給電信頼度の向上や、電源装置の動作台数を制御することによる設備の有効利用やシステム全体の高効率化が期待できる。

パワールーティングを実現するためには、各メッシュの電流値や各遮断器の状態を把握し、高信頼で有効に働く論理ネットワークの形成と、実用的な体積やコストで



(a) 直流給電系の基本的接続形態

- ・整流装置、蓄電池が集中設置のため高信頼装置が必要
- ・F(ヒューズ)遮断で負荷への給電断(自動復旧困難)
- ・負荷の動作状態にかかわらず給電系統は固定



(b) 次世代直流給電系の概念

- ・整流装置、蓄電池が分散設置のため高信頼不要
- ・SWにより負荷への給電を制御可(自動復旧可能)
- ・負荷の動作状態により負荷への給電ルートが選択でき、設備の有効利用が可能

図16 スマート制御とパワールーティング

遮断器を実現するなど課題も多い。しかし今後は、建物内に閉じないエリア単位の給電や、分散発電・分散蓄電との連携など、スマートグリッドへの展開も考えられることから、給電システムの将来展開として期待される技術である。

## 7. まとめ

情報通信用給電システムについて、直流給電を主体とした集中給電から分散給電への流れ、それに合わせた整流装置の変遷を述べるとともに、近年のIP系装置の導入拡大に伴う新たな課題やそれに対応する高電圧直流給電システムについて紹介し、交流給電の高信頼化への課題も示した。最後に、最近開発が進む高耐圧で高速・低損失動作が可能なSiC半導体素子の可能性と、パワールーティングという給電系の変革への可能性を示した。

### [参考文献]

- 1) H. Ikebe : "Power Systems for Telecommunications in the IT Age", Proceedings of INTELEC 2003, pp.1~7
- 2) K. Hirose, T. Matsumura and M. Yamasaki : "Cost-benefit Analysis of Emergency Backup Power Systems for Mission Critical Applications", Proceedings of INTELEC 2010,9.1
- 3) T. Aoki, M. Yamasaki, T. Takeda, T. Tanaka, H. Harada and K. Nakamura : "Guidelines for Power-Supply Systems for Datacom Equipment in NTT", Proceedings of INTELEC 2002, pp.134~139
- 4) A. Fukui, T. Takeda, K. Hirose and M. Yamasaki : "HVDC

Power Distribution Systems for Telecom Sites and Data Centers", Proceedings of IPEC 2010, pp.874~880

- 5) A. Matsumoto, A. Fukui, T. Takeda and M. Yamasaki : "Development of 400-Vdc Output Rectifier for 400-Vdc Power Distribution System in Telecom Sites and Data Centers", Proceedings of INTELEC 2010,4.3
- 6) 山崎幹夫, 金井丈雄, 三野正人, 大橋弘通 : 総論 - SiC 応用による新たな可能性と課題, 平成23年電気学会産業応用部門大会 1-O1-1



やました たかし  
山下 隆司

取締役 EHS&S 研究センター上級研究員 兼 通信エネルギー技術本部長  
高信頼電源システム, 電力変換装置, クリーンエネルギーシステム等のコンサルティングおよびマネジメントに従事  
電気学会上級会員, 電子情報通信学会, IEEE 会員



むろやま せいいち  
室山 誠一

EHS&S 研究センター上級研究員 兼 エネルギー技術部担当部長  
工学博士, 電力供給システム, 電力変換装置のコンサルティング, 技術評価に従事  
電子情報通信学会, 電気学会, IEEE 会員



やまさき みきお  
山崎 幹夫

エネルギー技術部長  
電源回路, 給電システム解析・設計, パワーエレクトロニクス応用などのコンサルティング業務に従事

## Synopsis

### Technical Trends and Future Challenges of Power Supply for Information and Communication Systems

Takashi YAMASHITA

Seiichi MUROYAMA

Mikio YAMASAKI

This paper described trends of communication equipment concomitant with developments in information communication services as well as trends and the future potential of power supply system technologies to cope with such changes in communication equipment.

The paper first set out a basic power supply system for information and communication systems and went on to describe the outstanding reliability and power supply efficiency of DC power supply systems based on a comparison of AC and DC power supplies. Examining DC power supply systems that represent the mainstream power supply system for communication, changes in rectifiers and the consequent flow from centralized to distributed power supplies as well as changes in the method of power supply in racks were discussed.

In addition, issues such as changes in the perspective of reliability concomitant with the introduction in recent years of IP-based devices and problems with power supply systems arising from increased power consumption per rack were presented, conditions for stable power supply operation were described and a high-voltage DC power supply system designed to resolve this problem by increasing the power supply voltage was introduced.

Finally, the paper presented the potential of the reform of power supply systems known as "power routing," an approach that has been undergoing development recently that employs high-voltage, high-speed and low-loss SiC semiconductors.