

ビル建築設備の生命線 — 受変電設備の動向

Trends in Electricity Receiving and Transforming Equipment as Building Facilities Lifeline

木田 聡

■ KIDA Satoshi

ビル建築設備の生命線ともいえる受変電設備は、高信頼性が求められる一方で、近年は対環境性を求められるようになっており、製造エネルギーの低減や低環境負荷素材（エコマテリアル）の利用などが試みられている。また、コージェネレーションシステム（CGS）や太陽光発電システムなど分散電源の導入が進んでいることから、分散電源シミュレータを実用化することによって、計画段階でのエンジニアリングの充実を実現している。これらの技術は設備リニューアルの際にも効果を発揮し、リニューアル効果を高める要因にもなっている。

Electricity receiving and transforming equipment, which can be considered a lifeline of building facilities, must not only offer high reliability but has also been required to provide environmental friendliness in recent years. As a result, efforts are being made to reduce the energy required for the production of such equipment and to use materials having a low environmental burden. Furthermore, with the introduction of distributed power supply systems such as cogeneration systems and photovoltaic systems in progress, enhancement of engineering at the planning stage is being materialized by the practical application of distributed power supply simulators. These technologies exhibit their effects at the time of equipment renewal, and are contributing to improvement of the effects of renewal.

1 まえがき

ビル建築設備では照明や空調、昇降機など多くの設備が電気エネルギーによって運用されており、電源を供給する受変電設備は生命線といっても過言ではない。ここでは、生命線である受変電設備の最近の動向と、近年注目を浴びている分散電源や受変電設備のリニューアルについて述べる。

2 受変電設備の高信頼化

高度に情報化された現代社会では、停電や瞬時電圧低下はコンピュータシステムのシステムダウンなどの原因となる可能性を秘めている。電源を供給する受変電設備のトラブルは、社会に重大な影響を及ぼすおそれがあるため、従来にも増して高い信頼性が求められるようになってきている。受変電設備の高信頼性を確保するためには、点検や事故又は設備更新時の電源停止範囲が最少限となるようにシステムを構成することが求められ、図1のような対策を検討したうえで、コストや設置スペースとの折り合いを考慮する必要がある。

一方で、(社)電気設備学会の“地球環境を考慮した電気設備調査研究委員会”をはじめとした各方面では、環境負荷の削減手法に関する議論も進んでいる。これらの背景から、現代の受変電設備は、高い信頼性を持つと同時に、環境負荷の低い、いわゆる“地球に優しい”設備が求められている。

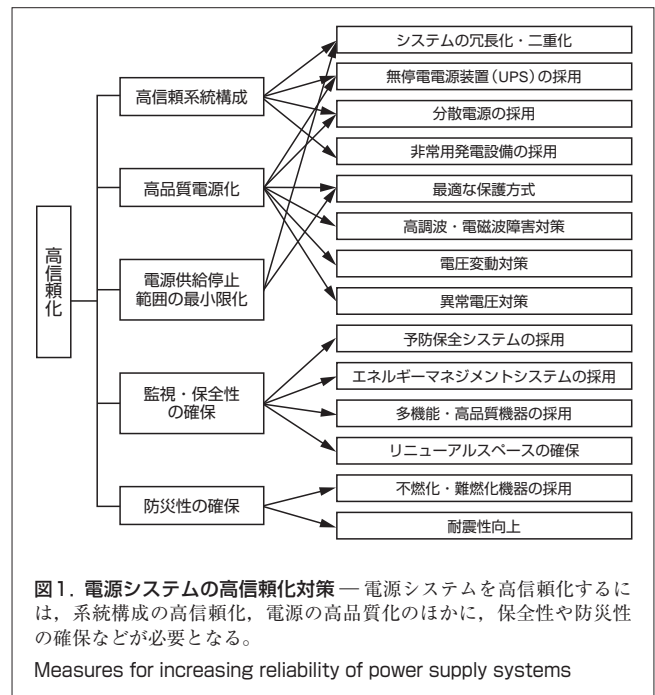


図1. 電源システムの高信頼化対策 — 電源システムを高信頼化するには、系統構成の高信頼化、電源の高品質化のほかに、保全性や防災性の確保が必要となる。

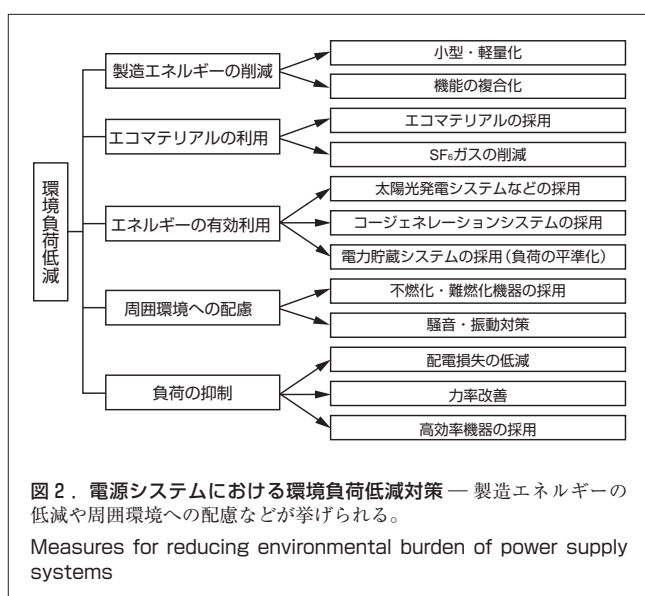
Measures for increasing reliability of power supply systems

3 受変電設備の環境負荷低減

1997年に開催された“気候変動枠組条約 第3回締約国会議 (COP3：地球温暖化防止京都会議)”において、わが国は二酸化炭素 (CO₂) などの温暖化ガスの排出量を、2008年から2012年の5年間で6% (1990年比) 削減することを世界に

公約した。このような背景から、1999年には国土交通省から“グリーン庁舎指針”が発行され、ビル建築設備の企画から廃棄までのライフサイクルCO₂に基づくライフサイクル評価指針が示された。また、前述の地球環境を考慮した電気設備調査研究委員会の中間報告(2002年7月)によると、新築時に建築用電気設備工事が占めるCO₂排出量の割合は全体の5%であるが、運用時に消費するエネルギーは全体の53%を占めるとされている。

したがって、環境負荷低減のためには、省エネルギーや再資源化などの検討が必要で、主な対策としては図2のような項目が挙げられる。これらのうち、製造エネルギーの削減とエコマテリアルの利用について以下に述べる。



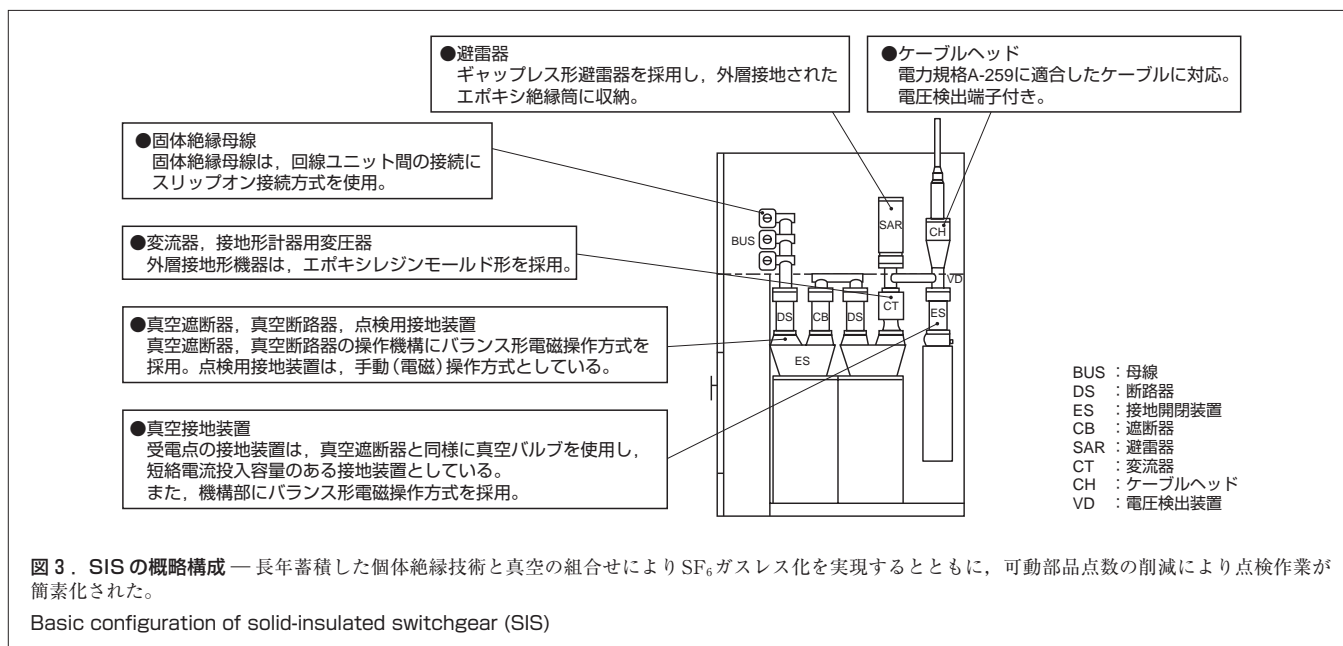
3.1 製造エネルギーの削減

設備を製造する際に消費するエネルギーを削減するための対応策としては、機器の小型・軽量化が第一に挙げられる。例えばスイッチギヤ(開閉装置)については、従来は保護継電器やメータ、スイッチ、計器類が個別に実装され、シーケンス回路は補助継電器で構成されていた。このため製造工数が多大であったが、デジタルリレーやプログラマブルコントローラを採用することで、多機能化を実現するとともに、製造工数の削減も可能となった。最近では、伝送技術が向上したことにより、制御機器間を伝送ケーブルで結ぶことで使用する配線の削減を実現し、製造時のエネルギー消費を削減している。

3.2 エコマテリアルの利用

大規模なビル建築設備で従来から多用されている公称電圧22kVスイッチギヤの絶縁方式は、気中絶縁方式と六フッ化硫黄(SF₆)ガス絶縁方式が主流である。SF₆ガスは絶縁性の優れた気体であるが、地球温暖化係数はCO₂の23,900倍で、COP3の削減対象ガスとなっている。SF₆ガスを代替する絶縁ガスについては現在研究が進められているが、実用化には至っていないため、機器の縮小化と使用ガスの回収で対応している。

一方、気中絶縁方式のスイッチギヤは、SF₆ガス絶縁方式に比べ安価であるが、大型であるため都心部のビル建築設備には最適とは言えない。東芝では、長年蓄積してきた絶縁技術と、新たに開発した固体絶縁材を使用し、22kV及び33kVの固体絶縁方式スイッチギヤ(SIS)を製品化した。SISは、SF₆ガスを使用せずに小型・軽量化を実現したもので、概略構成は図3に示すとおりである。SISに収納している遮



断器や断路器などの操作機構には、新たに開発したバランス形電磁操作機構(BMA)を採用している。BMAは、永久磁石の磁力とソレノイドの電磁力、投入ばね力を組み合わせて開閉操作を行う機構で、部品点数の削減と構造のシンプル化を実現している。

そのほかにも、スイッチギヤや制御盤などの内部で使用する電線について、廃棄時の有害物質が少ないエコ電線の使用が進められており、機器の塗装に使用する塗料は、従来から使用されている有機塗料を水性塗料に変更することも試みられている。また、変圧器などに使用する絶縁油については、従来の鉱油に代わって植物性油を採用することも研究が進んでおり、エコマテリアル採用の検討が進められている。

4 分散電源と新エネルギー

分散電源システムは、国による導入支援や法制化などを背景として、エネルギー有効利用の観点から関心が高まっており、コージェネレーションシステムや太陽光発電システムなどを中心に普及が進んでいる。分散電源システムを導入した場合、設置者には次のような効果が期待できる。

- (1) 省エネルギー 大規模発電所から需要家までの送電ロスがないため、広い意味での省エネルギー効果が期待できる。
- (2) CO₂削減 資源の効率的な使用により、化石燃料の消費量を抑制することで、CO₂削減効果が得られる。
- (3) 電力系統の負荷平準化 商用受電のピークカットにより、電力系統の負荷を平準化することができる。
- (4) 電力供給の高信頼化 商用系統停電時に分散電源により給電することで、電力供給の信頼性を向上できる。

4.1 分散電源の系統連系

分散電源を導入する場合、需要家側の電源信頼性向上や

余剰電力の売電などを目的として、電力系統との連系が行われることが多い。分散電源を系統と連系する際は、分散電源は系統の供給信頼性や電力品質に悪影響を与えないことと、系統側事業者や他需要家設備の安全を確保することが求められ、主な対策として次の項目が挙げられる。

- (1) 系統事故対策 電力系統で短絡事故や地絡事故が発生した場合や、作業などで停電する際に、これを検出して分散電源を電力系統から切り離すための、保護継電器や単独運転検出装置などの設置が必要(その内容は連系する系統の電圧などにより異なる)となる。
- (2) 電圧変動対策 分散電源の連系によって系統の電圧変動が適正値を逸脱するおそれがある場合は、電圧変動対策として無効電力補償装置などの設置が必要な場合がある。
- (3) 短絡容量対策 分散電源の連系によって電力系統側の短絡電流が増加するため、系統の遮断器の定格遮断電流を上回る可能性がある場合は、限流リアクトルなど抑制対策装置の設置が必要な場合がある。
- (4) 保安連絡体制 低圧連系の場合を除き、緊急時に分散電源設置者と電力会社との連絡を取るための専用通信設備の設置など、連絡体制の構築が必要となる。

これらの対策の要否については“電力系統連系技術ガイドライン”に基づき、系統側と分散電源側の二者間での協議が必要となる。

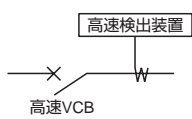
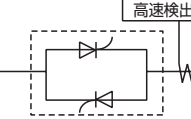
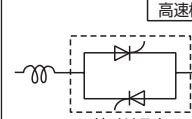
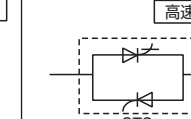
また分散電源を商用系統に連系する場合、落雷などによる瞬時電圧低下あるいは停電時に、系統側負荷が重畳されることにより発電設備が過負荷となり、最悪の場合過負荷停止してしまう懸念がある。これを回避する対策として高速遮断装置があり、その種類と特徴は表1のとおりである。

4.2 単独運転検出装置

分散電源を電力会社の高圧配電系統に系統連系する場

表1. 系統連系高速遮断装置の種類と特徴

Types and features of equipment for high-speed interception of system interconnection

項目	高速真空遮断器	サイリスタクリッパ	サイリスタリミッタ	GTOリミッタ
回路構成				
遮断時間 (50 Hzの場合)	1サイクル(20 ms)	1サイクル(20 ms)	1サイクル以内(20 ms)	数ms
電圧維持	1サイクル以内の電圧低下が許容できる場合は適用可能	1サイクル以内の電圧低下が許容できる場合は適用可能	事故発生時でも、リアクトルにより電圧維持可能	数ms以内に電圧低下を回復するので実用上問題ない
限流機能	なし	なし	リアクトルにより事故電流を限流可能	GTOの遮断機能により限流可能
発電装置へのストレス	1サイクルの間継続	1サイクルの間継続	事故電流を限流するのでストレスが軽減	事故電流が増加する前に限流するのでストレス軽減
装置の大きさ	小	中	大	中

GTO : Gate Turn-Off thyristor

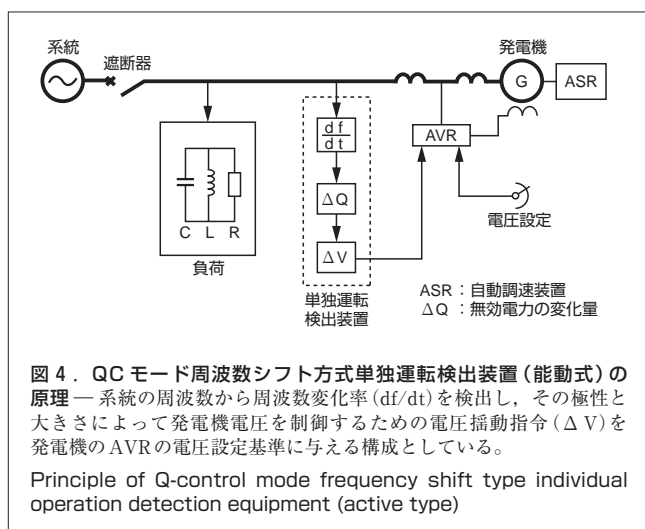
合、系統停電の際に分散電源が単独で運転を継続しないように、連系保護継電器や単独運転検出装置が必要となる。単独運転検出装置は、受動的検出方式と能動的検出方式の2種類に大別されるが、電圧や周波数の変動を検出する受動的検出方式の単独運転検出装置では、系統などの条件によっては、単独運転状態を確実に検出することが困難となる。能動的単独運転検出装置の一例である周波数シフト方式は、インバータなど変換装置の単独運転検出用として、その有効性が認められている。しかし、分散電源として多用される同期発電機は调速機により速度制御が行われることから周波数変化が現れにくいいため、周波数シフト方式では単独運転を検出できない場合がある。

当社は、これを解決する新しい方式として、系統の周波数変動に同期して無効電力を変動させ、周波数変動に正帰還をかける“QC(無効電力制御)モード周波数シフト”方式の単独運転検出装置を製品化している。その原理は図4に示すとおりで、系統の周波数から周波数変化率(df/dt)を検出し、その極性と大きさによって発電機電圧を制御するための電圧揺動指令(ΔV)を発電機のAVR(自動電圧調整装置)の電圧設定基準に与える構成としており、次のような特長を持っている。

- (1) 発電機定格の50%以上の負荷条件で、単独運転状態を30s以内に検出できる。
- (2) 誘導電動機負荷が全負荷の50%を占めていても、単独運転を検出できる。
- (3) 発電機が複数台設置されている場合にも、発電機間に特別な配線を追加する必要がない。
- (4) 調整が簡単で、設置前の検討も容易である。

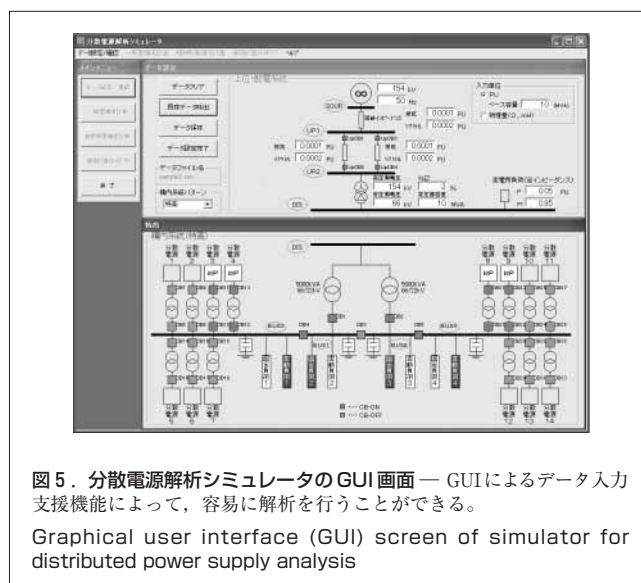
4.3 分散電源シミュレータ

分散電源を系統連系する場合、電源の併入時や解列時に周波数や電圧が過渡的に変動する現象が起こる。従来、こ



のような過渡現象の解析には、シミュレーションソフトウェアが用いられていたが、複雑な検討を要するため一般に多用されているとは言えなかった。そこで当社は、簡易的に各種シミュレーションを行うことのできる“分散電源解析シミュレータ”を開発した。このシミュレータは、図5のようなGUI(Graphical User Interface)によって容易に入力を行うことができ、次の機能を備えている。

- (1) 過渡現象解析機能
 - (a) 逆潮流解析
 - (b) 分散電源併入時の電圧・周波数変動の解析
 - (c) 分散電源解列時の電圧・周波数変動の解析
- (2) 評価支援機能
 - (a) 定常的な電圧値評価
 - (b) 力率評価
 - (c) 高調波評価
 - (d) 特定一断面潮流計算
 - (e) 複数断面連続潮流計算 1日あるいは数時間にわたる電圧と潮流状態の確認や予測に利用



このシミュレータには、送電系統、受電形態、分散電源(同期発電機、燃料電池など)の各種モデルが用意されており、様々な形態の設備に適用することができるので、分散電源を系統連系する場合の事前検討に有効である。

4.4 コージェネレーションシステム(CGS)

CGSは、1種類の一次エネルギーから連続的に2種類以上の二次エネルギーを得るシステムと定義されており、国内では、内燃機関による発電装置から電力と熱エネルギーを得るものが一般的である。空調設備などの熱源が必要なビル建築設備において、CGSはエネルギーの有効利用策としての代表的な例で、次のような特長がある。

- (1) 発電効率は25～40%程度であるが、発電時の排熱を回収することで、図6のように70～80%の総合エネルギー効率を実現できる。
- (2) 電力需要の多い昼間に限定して運転を行うと、商用電力のピークカットに貢献し、増加傾向にある昼夜の電力供給格差を縮小することができる。
- (3) システム構成によっては、商用系統停電時にも負荷への給電が可能であり、保安用電源や防災用電源(一定の条件を満たす場合)として使用することができる。

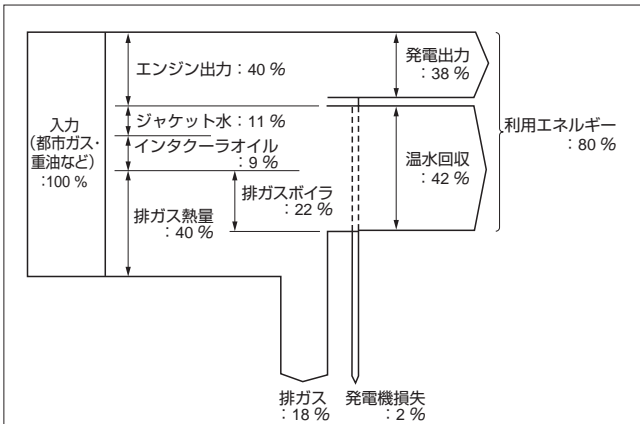


図6. CGSのエネルギー利用例 — 全温水回収で総合効率約80%を実現した事例である。

Typical use of energy by cogeneration system

4.5 太陽光発電システム

自然エネルギーを利用する新エネルギーシステムのうち、太陽光発電システムは普及が進んでいるシステムの代表例である。太陽光発電システムは、以下のような特徴を持っており、設置環境などの制約条件が少ないことから、ビル建築設備においても、導入が進んでいる。

- (1) 燃料を必要としないクリーンエネルギーである。
- (2) 規模に関係なく、発電効率が一定である。
- (3) 発電出力パターンと電力需要パターンが、ほぼ一致する。
- (4) 大きな電力を必要とする場合、広い設置面積が必要となる。
- (5) 発電量が、季節・気象条件・時間帯に左右される。

太陽光発電システムは、その用途から系統連系形、独立電源形の2種類に大別され、そのシステム構成は図7に示すとおりである。図に示した系統連系形システムでは、商用電源が停電した際に負荷へ給電することができないが、商用系統停電時にも負荷へ給電したい場合は、蓄電池を備えるシステムとすることで対応する。一方の独立電源形システムは、重要度の低い負荷に対して適用されることが多い。

5 受変電設備の劣化診断とリニューアル

5.1 受変電設備の劣化診断

一般に、受変電設備の寿命は、性能が低下し使用上の安全性が維持できないと判断した時点、と言われている。設備の劣化は、図8のように物理的要因や社会的要因が様々な影響し合うことから、定量的な評価は困難である。

受変電設備の主要コンポーネントは、様々な部品を高密度に実装した複合体であり、各々劣化の速さが異なるため、定量的な寿命の判定は難しい。設備の劣化状況を判断するためには、定期的に点検・保守を行い、絶縁抵抗値など劣化の目安となる項目について、経年変化の傾向を把握することが肝要である。劣化の兆候が見られる場合は、点検周期を短く取るとともに機器の更新計画を促進する必要がある。

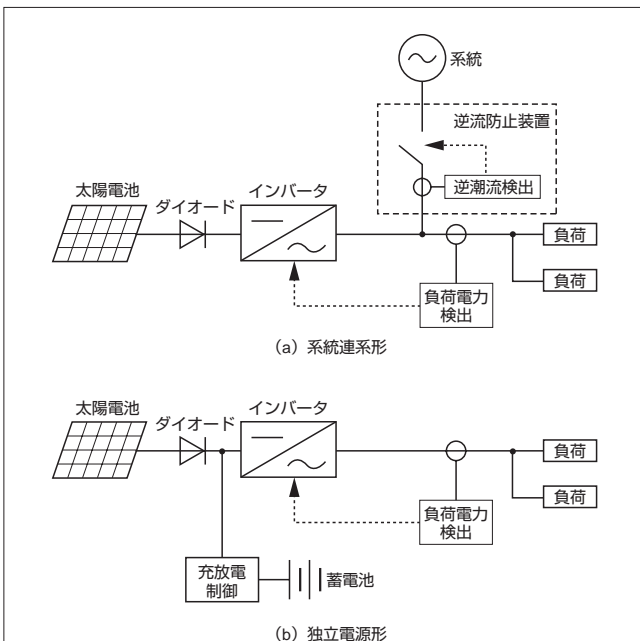


図7. 太陽光発電システムの構成例 — 一般に系統連系形システムは蓄電池を持たないケースが多いが、独立電源形システムでは蓄電池が必要となる。

Typical configuration of photovoltaic system

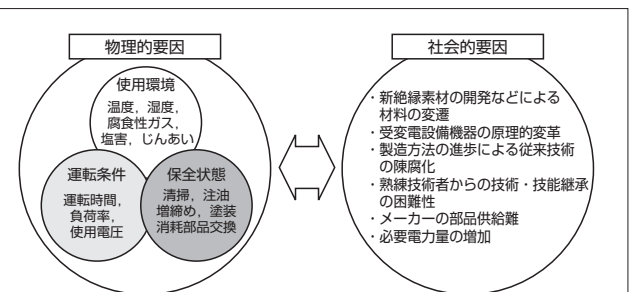
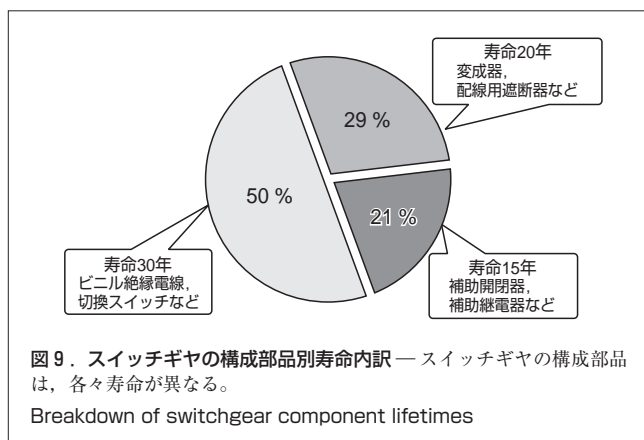


図8. 寿命の要因 — 受変電設備の寿命の要因は、物理的要因と社会的要因に大別される。

Factors related to equipment lifetime

5.2 リニューアル

機器が老朽化すると、構成部品が劣化し機能を果たさないおそれが出てくる。受変電設備機器の部品劣化の一例として、スイッチギヤを構成する数十種類の部品の寿命について、フィールドからサンプリングした調査結果を図9に示す。図からは、20年を経過すると約半数の部品の更新が必要となることがわかる。複数の構成部品を現地で交換するためには、設備を長時間停止する必要がありコストも多大となる一方で、システム全体の信頼性向上にはつながらない。したがって、受変電設備は納入後20～30年でシステム全体がリニューアルされるように、15年経過時点を目安にリニューアル計画を進めることが理想的である。



受変電設備のリニューアルを計画する際は、既存設備の構成や運用形態を調査し、設備停止の時間や範囲について許容条件を検討する必要がある。ポイントとしては以下の項目が挙げられ、これらを考慮したうえで、どのような手順で設備を更新するか決定することになる。

- (1) 既存設備 運用形態、点検状態などの確認
- (2) 電源系統切換え時の停電 許容できる停電範囲及び停電時間、回数の確認
- (3) 設置スペースの確保 既存の電気室に設置するか、新しいスペースに設置するか
- (4) 搬入制限 仮置きスペースを含めた搬入ルートの検討及び制約事項の有無
- (5) 切換え手順 ステップごとにリニューアルする場合の切換え手順の確認
- (6) 予算 総予算だけでなく、ステップごとにリニューアルする場合は各ステップごとの予算の確認

リニューアルのポイントからもわかるように、リニューアルは設備を新設する場合に比べて電源系統の切換えなど工事の比重が大きくなるため、検討にあたっては機器だけでなく施工についても十分に検討を行うことが重要である。立案されたリニューアル計画を実現すると、設備老朽化対策のほ

かにも、対環境性の向上や省エネルギーなど様々な効果もたらされる。その効果は対象機器によって違いがあり、各機器ごとのリニューアル効果を表2に示す。

表2. 機器別のリニューアル効果

Effects of equipment renewal

装置・機器	リニューアル後の推奨機器	期待できる効果					
		信頼性	機能・性能	縮小化	省力化	対環境性	省エネ
22 kV/33 kV スwitchギヤ	SIS	○	○	○	○	○	
	C-GIS	○	○	○	○		
	気中絶縁スitchギヤ	○	○	○	○		
	モジュール形SNW盤	○	○	○	○		
監視制御盤	CPU 応用監視制御装置	○	○	○	○		○
油入変圧器	ガス絶縁変圧器	○	○	○	○	○	○
	モールド変圧器	○	○	○	○	○	○
	分解搬入形モールド変圧器	○	○	○	○	○	○
シリコン乾式変圧器	ガス絶縁変圧器	○	○				○
	モールド変圧器	○	○	○		○	○
	分解搬入形モールド変圧器	○	○	○	○	○	○
配電用変圧器	高効率変圧器	○	○			○	○
断路器	断路器	○	○	○			
	SNW用一次開閉器	○	○	○	○		
空気遮断器	ガス遮断器	○	○	○	○		
	真空遮断器	○	○	○	○		
保護継電器	静止形保護継電器	○	○	○	○		
	デジタル形継電器	○	○	○	○		
	複合形デジタル継電器	○	○	○	○		
無停電電源装置	IGBT 汎用UPS	○	○	○			○
	400 V 入出力UPS	○	○	○			○
負荷切換装置	STS	○	○		○		
—	太陽光発電装置		○			○	○

◎：大きな効果が期待できる ○：効果が期待できる

C-GIS：ガス絶縁スitchギヤ

SNW：スポットネットワーク

IGBT：絶縁ゲートバイポーラトランジスタ

STS：双方向無瞬断切換装置

6 あとがき

ビル建築設備の生命線ともいえる受変電設備は、高信頼性が求められる一方で、対環境性の向上が求められている。また省エネルギー効果を期待した分散電源の導入などによって、設備の運用形態は複雑になる傾向にあり、受変電設備の改修やリニューアルでは、計画段階でのエンジニアリング業務の重要性が高まってきている。長年多くの受変電設備や分散電源を納入してきたノウハウを生かしつつ、ここで紹介した技術やエンジニアリングツールを活用し、今後も社会ニーズに応えた受変電設備を提案し納入していきたい。



木田 聡 KIDA Satoshi

電力・社会システム社 社会システム事業部 施設システム技術第一部主務。システムエンジニアとして、官公制御システムのエンジニアリング業務に従事。電気設備学会会員。Infrastructure Systems Div.