

日本国内では、高炉を含む新鋭の一貫製鉄所の建設ということは少なくなりましたが、プロセスにおける新技術の確立、価格競争力対応などにより、既設設備のリニューアルはまだまだ盛んである。また電気事業法の改正により、特定供給電力事業も今後増えてくることが予想される。受変電設備でも、老朽化した設備のリニューアルを図るとともに、新しいライン設備に合わせた電源システムの確立が必要となる。また海外では、中国、東南アジア、アメリカなどで新鋭製鉄プラントの建設が盛んである。これらの鉄鋼プラント向け受変電設備でも、ライン設備やそれぞれの国の電源事情に合わせた対応が必要である。当社では、海外向けターンキーの物件対応、系統解析による電源システムの検討、リノベーション対応などいろいろな形で受変電システム・機器を供給している。

In the Japanese steel industry, the renewal and modification of steel plants is increasing due to the introduction of new plant process technologies and the need for greater competitiveness in the market. Substation systems and equipment are also being renewed due to this renewal/modification of plants. On the other hand, many new steel plants are being constructed in China, Southeast Asia, the United States, and other countries. Toshiba is an active supplier of substation systems and equipment to the steel industry in various countries, according to each country's conditions and specifications. Our activities in this field include turnkey projects, power system studies, equipment renewal, and so on.

## 1 まえがき

鉄鋼プラントは一般に電力使用量が大きく、このため受変電設備としては高電圧・大容量のものが多い。また、負荷設備に圧延機やアーク炉など負荷変動が大きなものを備えているため、電圧変動・フリッカなどの対策が必要になる。海外向けの受変電設備では、その国の電源事情に合わせた対応も必要である。これらの留意点に対し、納入例を引用しながら受変電設備の動向を述べる。

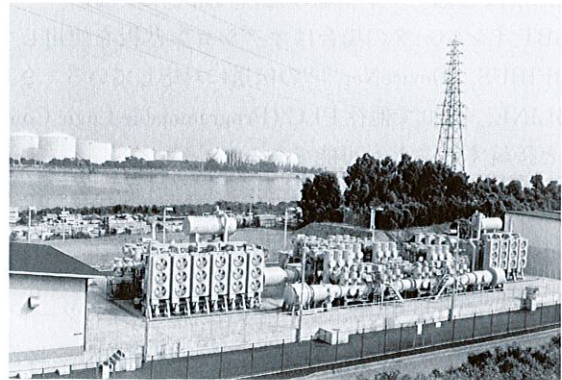


図1. GISの設置例 変電所のスペースが大幅に縮小された。  
GIS installation

## 2 高電圧・大容量変電所

電力使用量が大きく、高電圧・大容量の受変電設備の場合、下記の点に特に留意する。

- (1) 変電所の所要スペース GIS (ガス絶縁開閉装置)/C-GIS (キュービクル型 GIS) の採用によるコンパクト化
- (2) 接地システム メッシュ接地の検討など
- (3) 電力系統の保護リレーシステム 電力会社の保護リレーシステムとの協調

### 2.1 GIS/C-GISの採用

高電圧・大容量の受変電設備となると機器が大型となるため、変電所の所要スペースが大となる。スペースをできるだけ小さくするため、開閉装置としてはSF<sub>6</sub>ガスを使ったGIS/C-GISの採用が多くなっている。GIS/C-GISは充電部

が接地された金属容器に密閉されているので安全で、かつ塩害・じんあいなど外部の影響を受けないため信頼性も向上している。これらからGIS/C-GISは鉄鋼プラント向けの機器として適していると言える。図1にGISの例を示す。

### 2.2 接地システムの検討

受電変電所の接地システムを電力会社の系統の接地システムに合わせる場合がある。受電電圧が高くなり、例えば220 kVや275 kVになると、直接接地(有効接地)システムを採用することになる。接地工事としてはメッシュ接地の施工になるが、変電所の設置場所によっては、必要な接地抵抗値を得るために大がかりな工事となる場合がある。変

電所の設置場所の土壤抵抗など、事前の調査が必要である。また工事施工も、土木工事との日程調整が重要な課題となる。土木工事の終了後、接地工事のために再び変電所部分の掘り起こし/埋めもどし工事が必要になる、というようなことは避けなければならない。また、電力会社側の接地システムとの接続の可否についても、電力会社との事前の協議で確認しておく必要がある。図2のように送電線の鉄塔に張られた架空地線の支持部分に碍子を取付けて、接地システムを分離した例もある。

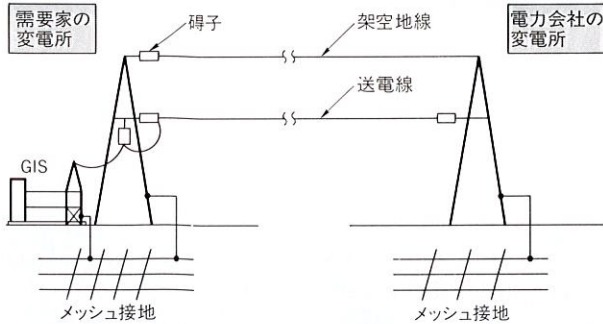


図2. 変電所の接地システム例 電力会社の接地システムと分離されている。

Substation earthing system (typical)

### 2.3 電力系統の保護リレーシステム

高電圧での受電となると電力会社の基幹系統に接続されることになり、このため保護リレーシステムとしても電力会社のものに合わせたシステムを採用することになる。事故点を確実に早く検出するのを目的として、メインの保護リレーシステムとしては一般にパイロットワイヤリレーやブスプロリレーを使用した区間保護方式が採用される。また後備保護として遮断器のトリップ動作不具合を検出するブレーカフェーラ保護システムが採用されることもある。いずれにしても電力会社と事前に協議を行い確認することになる(図3)。

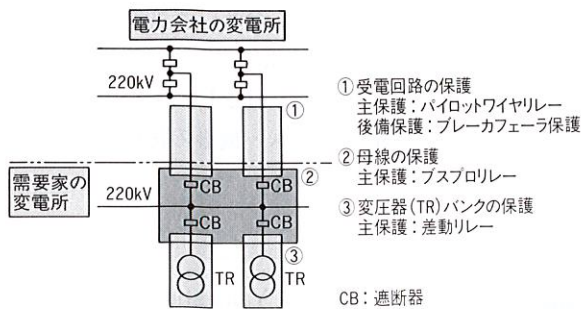


図3. 保護リレーシステムの例 主保護に区間保護方式を採用し、事故点を確実に早く検出できるようにしている。

Protection relay system (typical)

### 3 電源の品質向上

圧延機やアーク炉などの負荷による電圧変動・フリッカ・高調波などに対し、電源の品質向上を図る必要がある。電圧変動・フリッカ・高調波については、これらを発生させる負荷設備側で対策を検討するのが一般的であるが、変電所側で総合的な検討を行うことが必要となる場合がある。この場合、TRANP (TRansient ANalysis Program) や EMTP (Electro-Magnetic Transient Program) などの手法により系統解析を行うとともに、対策として無効電力補償装置 (SVC) や高調波フィルタの設置を検討することになる。

#### 3.1 電圧変動とフリッカ

製鋼用アーク炉プラントの場合、スクラップなどの溶解の初期段階で、発弧点のスクラップが溶け落ちるためつねにアーク長が変動したり、また炉内のスクラップが崩れ落ちてアークを短絡するなど、アーク炉に流れる電流は不規則な動揺をくり返し、時には急激に変化する。この変動する電流により、電源側の母線電圧の変動が不規則でかつ急激に変化するため、照明負荷やテレビなどにちらつき(フリッカ)を与える原因となる。この電圧フリッカは構内の電力系統だけでなく、受電系統である電力会社の系統にも影響を与えるため、電力会社との協議により電圧フリッカ値を所定値に抑えることが必要になる。一般に日本国内ではこの値は電力の系統のクリティカルブスで  $\Delta V10$  メータで測定し、100 V ベースで 0.45 V 以下としている。海外の電力会社では Engineering Recommendation P.7/2 の値を採用している例が多く、132 kV クラス以下の電圧では、PCC (Point of Common Coupling) における電圧変動幅 (Gauge Point Fluctuation Voltage) を 0.25 % 以下、アーク炉内短絡時の瞬時の電圧低下 (Short Circuit Voltage Depression) を 2 % 以下とすることが要求されることが多い。いずれにしてもその国の電源事情に合わせて、電力会社とよく協議することが必要である。

プラントの負荷がアーク炉だけでなく、圧延機などを併せもっている場合は、それぞれのプラントによる電圧変動を合成して検討する必要がある。表1に海外向けプラントでアーク炉と圧延機の両方のプラントをもったケースでの短絡時の電圧低下を検討した例を示す。この例では、電力会社の系統での PCC (230 kV) での値が最大で 1.18 % で、所定値に入っている。

#### 3.2 無効電力補償装置 (SVC)

電圧変動・フリッカの対策としては負荷による無効電力変動分を補償することが有効で、この装置として SVC がよく用いられる。SVC には、コンデンサ (フィルタ兼用コンデンサとすることが多い)、分路リアクトルおよび分路リアクトルの電流位相を制御するサイリスタ装置より構成される他励式のものと、変圧器と GTO (Gate Turn-Off thyris-

表 1. 電圧低下 (Voltage depression) の検討例  
Voltage depression study (typical)

検討ケース および条件	電圧変動 (低下) Voltage Fluctuation (Depression)			備考	
	アーク炉のタップ およびリアクトル (Re)	230 kV PCC	33 kV EAF (アーク炉)		33 kV HSM (圧延機)
(1)アーク炉での三相短絡 (a)アーク炉 1台 (b)アーク炉 2台	1,210V, Re=10% 1,210V, Re=10%	0.74% 0.93%	17.2% 21.6%	0.74% 0.93%	レドール炉あり レドール炉あり 粗および仕上げ ミルあり
(2)圧延機による変動 (a)アーク炉なしの場合		1.07%	1.07%	8.56%	
PCCでの総合検討(まとめ) (1)アーク炉による電圧低下 Flicker related voltage depression		0.93%			
(2)アーク炉と圧延機による 総合の電圧低下 Long term voltage depression		1.18%			

tor) インバータを使った制御装置による自励式のものがある。

現状では、分路リアクトルを使った他励式のものも多く採用されているが、今後は国内では自励式のものが増えていくと予想される。

なお、海外向けの SVC としては経済性・十分な設置スペースがあるなどの条件から、まだ分路リアクトルを用いたリアクトル制御方式のものが主流である。図 4 に分路リアクトルを用いた SVC の設置例を示す。

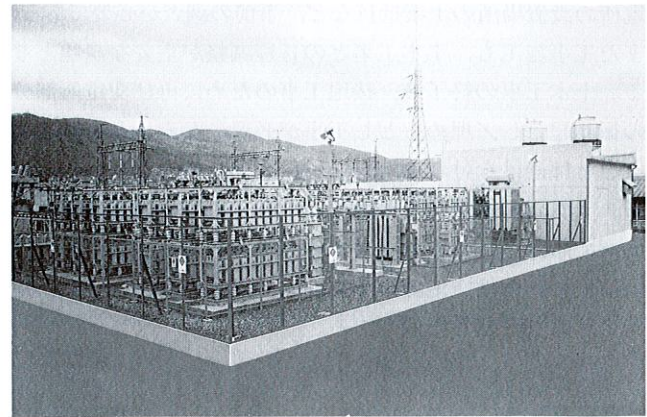
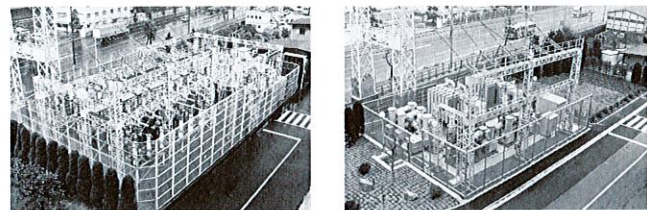


図 4. SVC の設置例 分路リアクトルを用いたリアクトル制御方式の例。海外向けで多く採用されている。

SVC system with TCR (typical)



(a)ニューアル前

(b)ニューアル後

図 5. 66kV 受変電設備のリニューアル実施例 スペースが約 1/2 に縮小された。

Renewal of 66 kV substation

#### 4 受変電設備のリニューアル

受変電設備は一度設置されると、長期間使用され、増設など大幅な変更がある場合や設備の寿命の兆候が現れるまでは更新されることは少ない。しかし、受変電設備は工場内のあらゆる設備に対する電力の供給源であること、高度成長期に設置された多くの設備機器の老朽化が進んでいること、省エネルギーや省力化を目標とした新しいシステムへの対応が必要であることなどから、リニューアルの計画・実施が増えている。リニューアルに際しては、負荷設備に対する電力供給を損わないでいかに設備の切換えを行うかが重要なポイントとなる。特に既設の変電所のスペース内でリニューアルを行う場合は、十分な調査と停電切換工事計画が必要である。図 5 に同一場所におけるリニューアル実施例を示す。停電が必要な切換工事は工場の夏休みなどを利用して実施するが、一度には行えないので何回かに分けて実施した。リニューアル後は GIS 化により変電所のスペースは約 1/2 に縮小され、空いたスペースは他の施設に流用する。

予算やスペースの関係で、どうしても全面的にリニューアルできない場合は、部分的に機器を新しいものにリプレースする。特に油入遮断器 (OCB), 空気遮断器 (ABB), マグネブラスト遮断器 (MBB) などの古いタイプの遮断器に

ついては、部品供給の困難な状況などから更新に際しては真空遮断器 (VCB), ガス遮断器 (GCB) などを採用する。MBB 収納のスイッチギヤの更新に際して、収納する遮断器のタイプが違うため外形寸法が異なる場合でも、主回路部分は改造する必要がないように考えられたレトロフィット型 VCB も用意され、リプレースをやりやすくしている。

#### 5 あとがき

鉄鋼プラント向けという観点から受変電設備の動向について述べた。他のプラント向けも含め、受変電設備は、工場内の電気エネルギー (電力) を供給する重要な役割をもっている。今後も電力の安定供給を旨とし、安全で使いやすく環境と調和した受変電システム・機器の提供を心がけていく所存である。



山下 泉 Izumi Yamashita

電機システム事業部 産業施設技術部主幹。  
産業用受変電システムのエンジニアリング業務に従事。電気学会会員。  
Industrial Automation Systems Div.