

電力用コンデンサ事業のアジア展開

Business operation of the shunt capacitor in ASIA

川口 正人*
M. Kawaguchi
神庭 勝*
M. Kamba

山下 武夫*
T. Yamashita
松本 義明*
Y. Matsumoto

概 要

電力用コンデンサのグローバル展開は1988年タイにコンデンサ工場を建設した頃から本格的に始動した。この工場は年間200万kvarの生産能力をもち、日本国内、タイ国内、及び第3国への輸出を図った。これ以前では、1978年頃から大口輸出物件を納入開始し、京都工場で生産対応していた。その後、中国の圧倒的な市場拡大に伴い、2001年中国へ生産拠点を設けた。ここでは、アジアの市場と生産拠点、技術課題などについて述べる。

Synopsis

The offshore production of power capacitor has begun in earnest when we have built the capacitor factory in Thailand in 1988. This factory had production capability of 2000Mvar a year and has supplied its products not only to Japan and Thailand but also to the third countries. Before the establishment of the factory, around 1978, we began to manufacture the products in Kyoto factory to cope with large orders from overseas. After that, with the overwhelming expansion of market size in China, we established a production base in China in 2001. In this article, Asian market, production bases and related technical problems are described.

1. 電力用コンデンサの世界市場

電力用コンデンサの市場は、電力会社向け調相用と需要家向け力率改善用に大別されるが、その用途から、いずれも電力需要の伸びに追随する市場である。我国での発電設備容量とコンデンサ設置量の推移を図1に示す。

世界の電力用コンデンサ市場も同じ用途から、電力量の伸びに見合った量が設置されていると見られ、電力量とその伸びを各地域ごとにまとめたものを図2に示す。

圧倒的にアジア地域の伸びが大きく、特に中国とインドは今後の大きな市場であることは周知のところでもある。

またアジアでは中国、ASEANなど数十の超高压直流連携、超高压送電、が計画されており、これらのプロジ

ェクトに対応する超高压フィルタや直列補償コンデンサも市場として多大である。

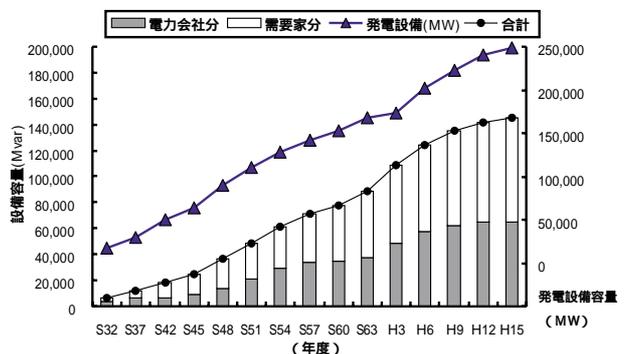


図1 日本の発電設備容量とコンデンサ設置量トレンド (コンデンサ調査専門委員会資料より)

*グローバル事業本部

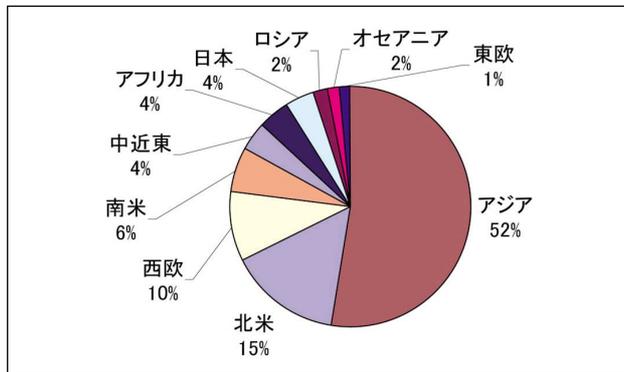


図2 世界の電力量の地域別伸び
(海外電力調査会資料より)

一方、更新需要に目を向けた場合、日本国内では機器寿命を一般的にタンク形コンデンサで30年、缶形コンデンサで15年と言われており過去の高度成長期の設置分が更新時期に入った市場である。

世界的にも欧米では電力量の伸びは無くとも、既設更新需要が進んでいる市場である。

総合的に、新設、更新をみれば、アジア地区の新設、日本、欧米の更新需要市場と考えられる。

2. 当社の方針

2.1 電力用コンデンサの開発と適用技術

2.1.1 電力用コンデンサの開発の変遷

当社は、1933年に住友電工で電力ケーブルの原理を応用したOF式電力用コンデンサが世界に先駆けて開発・実用化された後、1945年に事業を受け継いで以降、絶縁紙のパルプ材料や抄紙方法にまで踏み込んでメーカーと協力して開発、絶縁油についてもその産地による特性をも把握して最適な絶縁油を開発実用化してきた。或いは生産方法においてもその乾燥処理についてその乾燥度合いの計測方法で真空度を精密に計測する方法などについて改良を重ね、電力用コンデンサの開発を進めてきた。

1960年代に導入した絶縁紙とプラスチックフィルムの複合誘電体にPCBを採用した紙フィルムコンデンサ技術を缶形コンデンサに適用し、1970年代前半にはPCBの使用禁止に伴う新しい絶縁油を世界に先駆けて開発実用化し、次いでタンク形コンデンサへもこの紙フィルム複合誘電体を適用することに成功した。これと共にコンデンサの単器容量は飛躍的に拡大し、縮小形コンデンサ13,340kvarの開発につながった。

1970年代半ばには表面を改質し絶縁油の含浸性を改善したプラスチックフィルムを誘電体としたオールフィルムコンデンサを開発し、次第にタンク形コンデンサに適用、1990年代には縮小形コンデンサにも適用し、縮小形コンデンサにおいては単器容量30,000kvarの実用化に成功した。1990年代後半には

更に電極構造を改良してタンク形コンデンサに適用し、更なるコンパクト化につなげ、縮小形コンデンサでは世界最大単器容量40,000kvarの製品化に成功した。

当社の電力用コンデンサは前述のようにタンク形コンデンサを特徴としており、世界的にも独自の製品群を提供してきているといえる。

2.1.2 電力用コンデンサの適用技術の変遷

電力用コンデンサが高電圧で高信頼且つ経済的に供給できるようになったのをきっかけに、回転調相設備に比較し取り扱い、保守性の容易さ及び運転損失が少ないという優位性が認められ調相用設備としての電力系統への適用が進められてきた。

当社は、わが国におけるすべての直流送電設備に関し、直流、交流フィルタ設備の必要性並びにその仕様について検討し、設備を納入してきている。(佐久間、新信濃、北海道 本州、紀伊水道、福光、東清水) 更には電力系統の送電能力向上と安定度対策として直列コンデンサ設備の実用化を成し遂げている。(大黒幹) この直列コンデンサ設備については500kV回路に適用できる技術も1980年代に開発を完了している。

鉄道電化については、当初の直流起電方式における通信線誘導雑音防止対策として、1945年代から1955年代にかけて直流フィルタの実用化に成功し、次いで交流起電方式においては、1930年代から在来線の力率改善用コンデンサ設備、電力濾波器及び電圧降下抑制用直列コンデンサ設備の適用を実用化してきた。新幹線の開通に関し、1960年代半ばに周波数変換所の変換器出力低下抑制及び送電系統共振抑制目的で交流フィルタ設備を納入し、起電方式に応じた起電線電圧降下抑制用直列コンデンサ設備の適用するなど貢献してきている。

一方、産業界においても1950年には黒鉛化電気炉の注入電力改善用直列コンデンサ設備を開発実用化し、続いてアーク炉用電力改善コンデンサ設備、圧延設備用交流フィルタ設備、電解槽用交流フィルタ設備など開発し、産業設備による系統の各種問題解決のための電力用コンデンサの適用技術について発掘し、業界のリーダ的役割を果たしてきた。

2.2 電力用コンデンサの海外への展開

2.2.1 電力用コンデンサ設備のこれまでの海外展開

電力用コンデンサ設備の海外展開は第二次世界大戦前から実施されていたが、戦後は1950年代の台湾電力向けを皮切りにアジア、中近東、北米、中南米、アフリカ等世界中の国々に供給してきた。国内で培

ってきた適用技術を生かして調相設備用、鉄道用、圧延設備、製鋼設備用、化学設備用関係とあらゆる用途について対応してきている。

1980年後半には、新たな生産拠点としてタイ国〔日新電機タイ株式会社〕にて缶形コンデンサの生産を開始し、我が国への供給はもとより、上記世界中の各国に供給してきた。最近では、タイ国及び周辺国への供給源にもなっている。

2000年代初めには中国に〔日新電機（無錫）有限公司〕として新たな生産拠点を立ち上げ、中国国内への電力用コンデンサ設備や交流フィルタ設備の供給を開始している。この会社では缶形コンデンサの他に、当社が培ってきた設計・生産品質管理技術を移管してタンク形コンデンサ設備を供給している。これは、海外におけるタンク形コンデンサ設備の新たな展開と考えている。

2.2.2 当社の電力用コンデンサ設備の今後の海外展開

前述の通り、当社の海外展開は古くから実施されているものの、その規模は小さく且つ物件対応で変動が大きかった。当然のことながら国内の電力会社及び産業界の発展が著しく、その対応に注力していたことが影響していることも否めない。我が国における電力会社及び産業界のコンデンサ設備は更新時期に入っており、当面の需要は少ないながらも継続すると考えている。また、世界的にも第二次世界大戦後の設備が更新時期に入っていると考えられ、世界的にもコンデンサ需要は継続していると考えられる。

一方、近年の中国の経済発展は著しく、エネルギー供給源としての電力系統網構築は中国の国家課題として取り組まれており、従って電力用コンデンサ設備、交流フィルタ設備、直列コンデンサ設備の需要は極めて大きく、当面の需要は継続するものと思われる、当社としては中国の生産拠点でこれに対応しているところである。

さて、電力用コンデンサ設備の需要（新設設備容量が比例すると見ると）は世界の発電電力量の伸び率でいえば、中国の他にインド、日本、韓国、その他で過半数を占めており、所謂開発途上国や新興国の多いアジアでの展開が極めて重要であり各国の電力網建設に注目することが必要である。また、産油国などの集中的なインフラ整備などもその対象といえる。

当社では、中国の生産拠点〔日新電機（無錫）有限公司〕やタイ国の生産拠点〔日新電機タイ株式会社〕を中心に、新たな生産拠点の設立も含めてこれらアジア圏へ展開していくことが必要と考えている。

3. 当社の現状

本項では当社の現状について誘電体技術の変遷、経緯、コンパクト化の推移、更には現在までの実績も含め述べることにする。

3.1 誘電体材料

(1) 薄葉誘電体

古くはセルロースを主体とした絶縁紙を薄葉誘電体として使用していたが、誘電正接の低減化、耐電圧性能の向上を目的にポリオレフィン系フィルムが適用され、現状の電力用コンデンサでは耐熱性、耐油性の観点から殆どがポリプロピレン（以下PPと略す）フィルムを採用している。当初採用していたPPフィルムはPlainの透明フィルムであり、フィルム層間への絶縁油の含浸を補うための絶縁紙と重ね合わせた紙フィルムコンデンサで適用していた。その後、更に誘電正接の低減化を図る目的でオールフィルム化が指向され、含浸性改良のためにフィルム表面に凹凸を形成させた易含浸性のPPHazyフィルムが開発され、これを採用することで現在の電力用コンデンサは殆どがオールフィルムコンデンサとなっている。

コンデンサ用PPフィルムに使用される原料ペレットは不純物、添加物を特別管理した電気用ペレットを使用しており、その原料製造メーカーは世界で数社しかなく、また、易含浸性PPフィルムも特殊な条件下で延伸加工されるため一般包装用フィルムメーカーではなく、限られた一部のメーカーで製造されているのが実状である。

国内外のフィルムについて検討した一例を表1に示す。

表1 国内外フィルムの特性例

特性項目	フィルム	国産品 インフレーション	欧州品 テンター	中国品 テンター
密度(g/cm ³) 20°C		0.906	0.910	0.909
フィルムスペースファクター(%)		8.1	10.8	8.6
引張り強さ (kg/mm ²)	縦方向	17	12	17
	横方向	21	26	26
伸び(%)	縦方向	128	170	103
	横方向	66	41	43
収縮寸法変化率 (%) 120°C	縦方向	2.5	1.1	2.6
	横方向	3.4	0.2	1.7
DC-BDV(V/μm)	平均値	594	601	587
	最低値	533	533	533
平板電極法	粗面側	30	86	66
	滑面側	91	102	79
ヘーズ度(%)		33	11	14
結晶化度(%) 密度換算		62	67	66
灰分(ppm)		24	30	26
油浸後誘電率		2.30	2.31	2.29
油浸後誘電正接(%)		<0.01	<0.01	<0.01
油浸後体積抵抗(Ωcm)		>1×10 ¹⁶	>1×10 ¹⁶	>1×10 ¹⁶
浸油率		1.19	1.25	1.17
絶縁油膨潤特性:重量増加(%)80°C		11.6	10.0	11.0
絶縁油溶解性(%)80°C		0.8	1.3	1.8

コンデンサ用PPフィルムの種類としてはインフレーション延伸フィルムとテンター延伸フィルムに大別され、世界的にも両者が採用され多くの納入実績が残されてきた。基本物性については殆ど差がないが、フィ

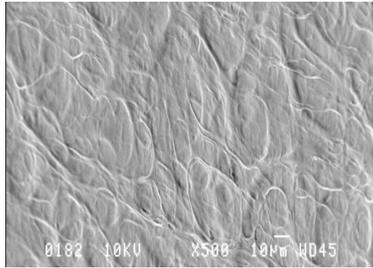


写真1 国産フィルム表面SEM像

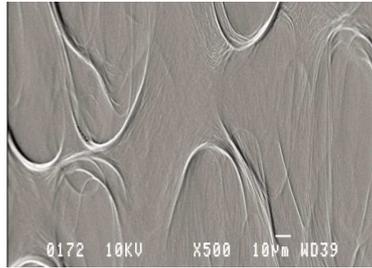


写真2 欧州フィルム表面SEM像

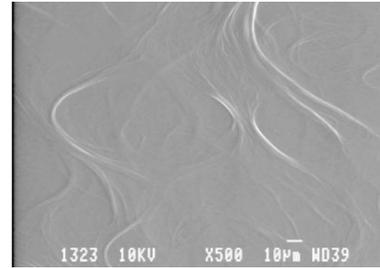


写真3 中国フィルム表面SEM像

ルムの延伸法により、密度や熱収縮寸法変化、引張り特性、表面形態に若干の差があるものの、設計条件を変更しながら併用してきている。写真1、2、3に各々の表面形態について電子顕微鏡で観察した例を示した。

含浸性を高めるための表面凹凸の密度はインフレーションフィルムが大きく、テンターフィルムが小さくなっており、その影響でヘーズ度(曇り)ではインフレーションフィルムが大きくなっている。表面凹凸の尺度であるフィルムスペースファクタは両者共に10%前後であり差はなく、これらPPフィルム表面の形状の違いとなる絶縁油の含浸性への影響は許容範囲内となっている。

尚、当社ではコンデンサの生産地に応じたメーカーのPPフィルムを採用している。

(2) 絶縁油

コンデンサ用絶縁油は古くから鉱油系絶縁油が使用されていたが、1970年代に水素ガス吸収性に優れ高耐電圧化を図った芳香族系合成絶縁油を開発し適用した。その後、数種の芳香族系合成絶縁油が開発され、現在のコンデンサ用絶縁油はそれらが世界的に主流となっている。代表例を表2に示す。

何れもベンゼン環を二個有するアルカン構造の化合物で芳香族%CAが73%以上と高芳香族性を示すものである。この芳香族成分は放電下において、化学的な水

素吸収能力が高く、コンデンサの絶縁破壊特性を支配する部分放電特性に好影響をもたらし、高電界設計を容易にしたことから機器のコンパクト化に大きく貢献した。尚、表2に示した欧州品や中国品Bの絶縁油は海外の極低温地域向けのコンデンサに適用されている。

3.2 誘電体技術の変遷、経緯

誘電体技術は前項でも触れたように1970年代以前は絶縁紙に鉱油を含浸した油浸紙コンデンサが主流であったが、それ以降はPPフィルム、芳香族系合成絶縁油を適用し、紙フィルムコンデンサ、オールフィルムコンデンサと移り変ってきた。

更には1990年代には素子電流引出リード線を廃止、アルミ電極箔を突出し構造にすると共に、電極箔端部の電界緩和のため折曲構造を採用し、高電界設計を達成した折曲突出箔コンデンサを開発、コンパクト化を図って現在に至っている。

誘電体構造、構成を表3に具体的に示した。

表3 電力用コンデンサの誘電体構造、構成

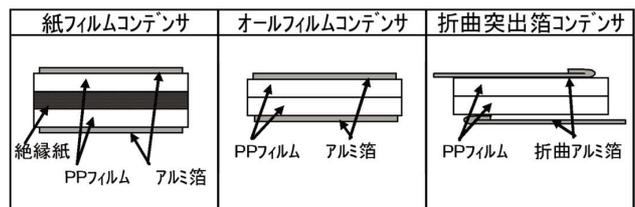


表2 世界市場コンデンサ用絶縁油の特性例

	国産品	欧州品	中国品A	中国品B
主成分	フェニル-キシリル-エタン	フェニル-メチルフェニル-メタン	フェニル-キシリル-エタン	フェニル-エチルフェニル-エタン
密度(g/cm ³) 20°C	0.99	1.01	0.98	0.98
動粘度 (mm ² /s) 40°C	5.5	3.6	6.1	4.1
引火点(°C)	152	136	146	146
流動点(°C)	-47.5	-55以下	-40	-55以下
全酸価(mgKOH/g)	0.003	0.003	0.003	0.003
腐食性硫黄	非腐食性	非腐食性	非腐食性	非腐食性
破壊電圧(kV/2.5mm)	95	93	80	85
比誘電率 80°C	2.51	2.52	2.51	2.44
誘電正接(%) 80°C	0.010	0.054	0.022	0.011
体積抵抗率(Ω cm) 80°C	2.5 × 10 ¹⁵	1.0 × 10 ¹⁴	2.0 × 10 ¹⁵	5.0 × 10 ¹⁴
芳香族%CA	75	86	73	75
反応	中性	中性	中性	中性
フィルム間広がり特性 (mm ²)	64	100	66	78
膨潤特性:重量増加(%) 80°C	11.6	9.0	11.8	11.8

3.3 コンパクト化の推移

1970年当時の油浸紙コンデンサでは設計電界が13kV/mm程度であったが、紙フィルムコンデンサではその2倍～3倍強、オールフィルムコンデンサでは約4倍、折曲突出箔コンデンサでは約5倍と高電界化を進めてコンパクト化を図って来た。

1970年～現在までの誘電体体積比の変遷をまとめ、図3に示す。

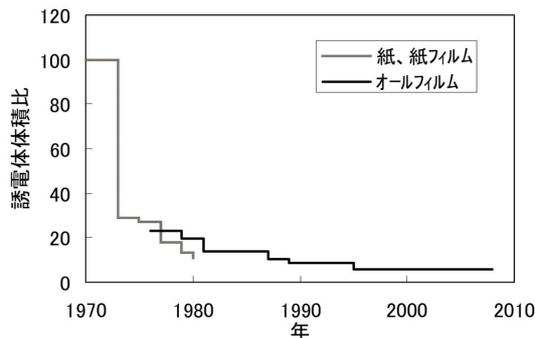


図3 世界市場向電力用コンデンサ誘電体体積比の変遷

図3は1970年の油浸紙コンデンサ誘電体体積を100として示した。

1973年には紙フィルム誘電体と芳香族系合成絶縁油の適用で一気に体積が1/3以下に、その後、紙、フィルムの薄膜化による高電界化を進め、最終的には1980年には体積を1/10程度までコンパクト化を行った。当時、誘電正接低減化(=損失率低減)の方向でオールフィルム化を優先し、一時的には体積比が増大したものの、易含浸性フィルムの薄膜化と折曲突出箔を採用することで現在では体積を1/20までコンパクト化している。

参考までにオールフィルムコンデンサの開発時点の体積を100とし、現在までの誘電体体積比の変遷を図4に示したが、1975年から1988年までは易含浸性フィルムの薄膜化によるコンパクト化、1995年以降は折曲突出箔採用によるコンパクト化を図ってきている。

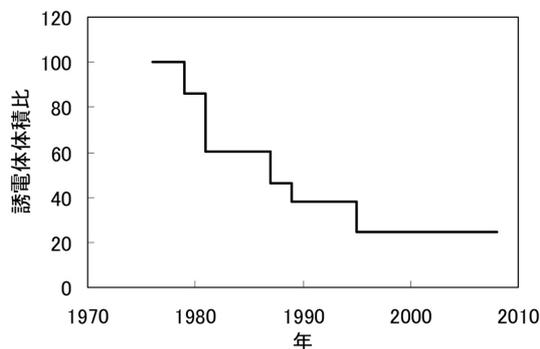


図4 オールフィルムコンデンサ誘導体体積の変遷

3.4 当社世界市場向コンデンサの実績

当社の世界市場向コンデンサは1950年に台湾へ納入、それ以降、表4に示すように56カ国に納入してきた。

ここ3年間の日新グループとしての納入実績を表5に示すが、圧倒的に中国市場への納入が多く、次いで中近東や東南アジアと続いている。

表4 世界市場向電力用コンデンサ納入国

アジア	中国、韓国、モンゴル、台湾、ウズベキスタン、イラン、イラク、ヨルダン、カタール、シリア、トルコ、クウェート、イエメン、パキスタン、サウジアラビア、イエメン、バングラデシュ、インド、ラオス、ミャンマー、ブルネイ、カンボジア、インドネシア、マレーシア、フィリピン、シンガポール、ベトナム、タイ
アフリカ	アルジェリア、エジプト、モザンビーク、タンザニア、ナイジェリア、リビア、南アフリカ、スーダン
北中南米	カナダ、メキシコ、アメリカ、アルゼンチン、ブラジル、エクアドル、ペルー、チリ、コロンビア、パラグアイ、ベネズエラ
ヨーロッパ	ブルガリア、ロシア、スペイン、イギリス、フランス、ドイツ、スウェーデン
オセアニア	オーストラリア、ニュージーランド

表5 2005 - 2007年の納入実績 (Mvar)

	2005年	2006年	2007年
韓国	4	0	0
台湾	144	103	1
中国	8,562	9,789	10,624
東南アジア	442	386	345
中近東	600	2	1,039
オセアニア	0	2	0

4. 日新コンデンサ事業のアジア展開

4.1 生産拠点

日新コンデンサの生産拠点は80年の歴史を越える日本京都以外に、1988年タイ国に初めての海外生産拠点を設け、20年にわたり日本、タイ、他海外への輸出生産拠点を確立している。

さらに、2001年には中国無錫市に会社を設立し今日の中国市場へのコンデンサ供給を担っている。

その生産量は3拠点合計で約15000Mvar(2007年)にまで達し、その中でも中国無錫では10000Mvarを生産し中国国内の需要に対応している。

4.2 生産機種

電力用コンデンサには用途仕様の違いから下記の種類があり、各々の生産拠点での対応状況を表6に示す。

- (1) 缶形コンデンサ：薄鋼板製の容器に収納し主に、一般需要家、海外向けに使用される。
- (2) タンク形コンデンサ：厚鋼板製の容器に収納し、主に日本国内、中国国内で使用される。
- (3) ユニバーサル/スーパーユニバーサル：タンク形コンデンサと直列リアクトルを一体化したもので開閉器を搭載したものがスーパーユニバーサル。主に日本国内、

中国国内で使用されている。

(4) 縮小形コンデンサ：高電圧単器大容量のコンデンサで最大単器40Mvarまで生産。主に日本国内電力会社向けに使用される。

4.3 アジアへの展開

前述3拠点での生産を行い各地へ供給しているがアジアへの展開については以下のような留意が必要である。

(1) 高信頼性

過去、日新のコンデンサは信頼性が高いと評価され続け、ブランドとしての地位を高めている。

また、いかなる国においても信頼性が第一に評価されていることから常に信頼性を最優先した製品提供が必要であり、今後も継続した品質向上を図ることが必要である。

(2) 使用状況に応じた設備設計

アジア地域では極低温地域から熱帯地域、乾燥砂漠地域、海浜地域などさまざまな仕様環境でコンデンサが使用され、機器性能上配慮が必要である。特にコンデンサはあらゆる電気機器の中で最も高電界で使用される油入機器であり、低温特性などを地域ごとに配慮する必要がある。

当然塵埃や塩害など外観的にも配慮が必要となる

(3) 設備としての仕様

各国ではコンデンサバンクの構成が必ずしも一致していない。設備として付随される直列リアクトルな

どは日本国内ではリアクタンス率6%（又は13%など）が標準的であるが突入電流のみを考慮した限流リアクトルなどもよく使われている。機器仕様は基本的にユーザから提供されるものであるが、必要によっては提案型の対応も必要である。

(4) 創出市場

海外では缶形コンデンサが一般的である。これは製品単体容量を小さくし、バンク全体を多数の単体コンデンサで構成し、万一の故障時には当該機器を交換すれば良いという消耗品的な考えであるが、我が国では高信頼性、省スペース、高耐震性などから、タンク形、縮小形が独自に発展し単器大容量化、高電圧化が進んだ。この機種は海外では知られていない、又は知名度が低く考え方も初期コストの低い缶形が主流である。但し近年その有用性が見直され特に中国では日本と同等のタンク形コンデンサが納入されている。

市場創出型の機種に対して、ライフサイクルコストの低い機種への提案が必要である。

(5) 環境対応

近年はCO₂排出規制など環境に対する対策気運が高まり、低損失化やLCAを考慮した機器開発が必要である。

また、発展地域では都市化が進み騒音問題も発生している。特にコンデンサは高調波の影響を受けて場

表6 製品群/市場と生産拠点

		市 場			
		国内電力	国内民需	中国市場	世界市場
生産拠点	日本	 縮小形 エット形	 エット形 タンク形		 エット形 タンク形
	タイ	 缶形サージ吸収用	 缶形		 缶形
	中国			 タワ形 エット形 缶形	

合によっては高い騒音を出す場合があり、事前の検討対策が必要である。

以上のような留意を開発、設計、製造、購買で細かく検討して地域にあった製品対応で伸び行くアジア市場（調相用や超高圧直流連携用フィルタ、直列補償コンデンサなど）に展開してゆく。

日新コンデンサの生産拠点は最も需要の多い中国、しかも江蘇省無錫市にあり今後中国市場のみならず第3国に対しても好位置であり、その発展性は大きな期待が持たれている。

5. 今後の課題

今後の課題として

市場の動向を読み生産拠点と生産量の最適化
環境問題から低損失化、低騒音化の製品開発
部材価格高騰（特に主材料である石油関連の絶縁油、フィルムなど）への対応
などが上げられる。これらの課題を克服し更なる発展を図っていかねばならない。

執筆者紹介



川口正人 Masato Kawaguchi
グローバル事業本部
コンデンサ事業部
技術部長



山下武夫 Takeo Yamashita
グローバル事業本部
コンデンサ事業部 副事業部長



神庭 勝 Masaru Kamba
グローバル事業本部
コンデンサ事業部
開発部長



松本義明 Yoshiaki Matsumoto
グローバル事業本部
コンデンサ事業部長