

# アメリカにおける航空転用型ガスタービン市場の特性と 日本での展開の期待

## Characteristics of the US Aero-Derivative Gas Turbine Market and Prospects for Market Expansion in Japan

高 村 薫 エネルギーセクター 技師長

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）以後、日本におけるエネルギーのあり方についてさまざまな議論が展開されている。エネルギーを無駄にしないという基本原則があるべきであり、最適なエネルギーミックスの見直しが急務である。アメリカでは、航空転用型ガスタービンの特長を最大限に活かした発電を行っており、市場が拡大している。本稿ではアメリカの航空転用型ガスタービン市場の特性を概観し、今後の日本における展開を期待した考察を行う。

A variety of discussions on how energy should be supplied in Japan have been continuing since last year's Great East Japan Earthquake and resulting tsunami. A quick review of the optimal energy mix is needed, based on the principle that energy should not be wasted. In the USA, there has been an expansion in power generation making use of the specific features of aero-derivative gas turbines. This paper gives an overview of the US aero-derivative gas turbine market and considers the prospects for the expansion of this market in Japan.

### 1. 緒 言

日本におけるエネルギー供給のあり方は、多様な形態の発電システムを効率良く組み合わせたエネルギーミックスの時代に移りつつある。2000年以降の電気事業法改正による特定規模電気事業者（PPS）も増加しているのが現状である。当社は1980年代から航空転用型ガスタービンを原動機とした発電システムを国内外の市場に投入してきたが、航空転用型ガスタービンの特長である、急速起動・急速停止、機敏な応答性、制限のない負荷増減回数、低排ガス、低燃料コスト、無効電力供給による力率の改善といった長所が一般には広く理解されていない。その背景には航空転用型ガスタービン発電の普及率が日本では低いことが挙げられる。アメリカでは、航空転用型ガスタービンを使った電力系統安定化の市場が急速に拡大しており、その市場の特性を紹介し、今後の日本における展開の意義について考える。

### 2. アメリカの電力系統

アメリカの電力系統は第1図<sup>(1)</sup>に示すように三つの地区に分かれており、互いに連系していないという特徴がある。三つの地区とは、東部地区、西部地区およびテキサス地区である。おのおのの地区内では、送配電システムの容量と電圧が規制されるだけで、電気は自由に流れている。

■ : 東部地区電力網  
■ : 西部地区電力網  
■ : テキサス地区電力網



第1図 北アメリカの電力系統<sup>(1)</sup>  
Fig. 1 North American power grid<sup>(1)</sup>

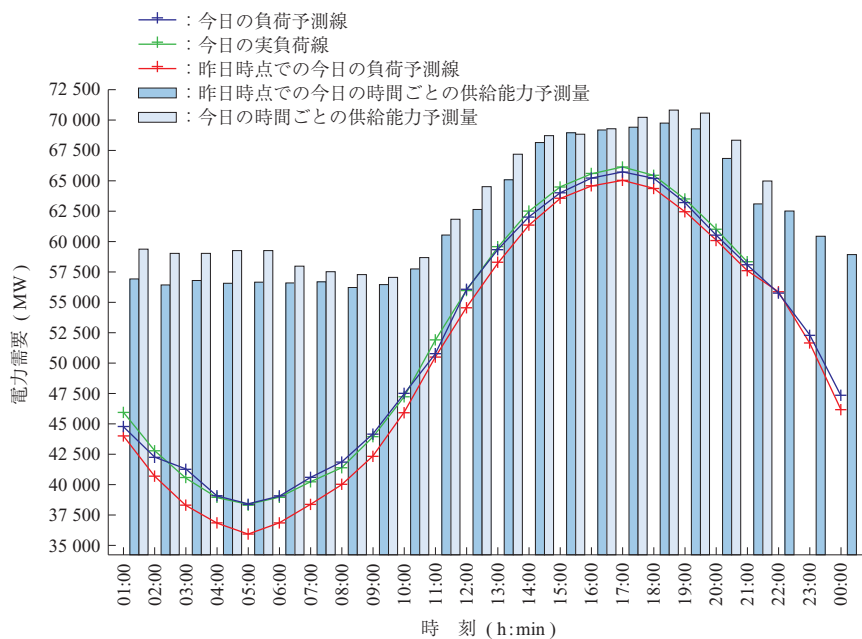
しかしながら、ほかの地区とは同期できないため、地区をまたがって電気が流れることはない。電気の立場から言えば、これはまさに三つの異なる国と言うことができる。たとえば、冬季数か月間は、テキサス地区においてはしばしば大きな余剰電力が発生するが、それを東部地区における寒冷日の高需要に対して利用することはできない。東部地区と西部地区はそれぞれがさらに幾つかの管理区域に分けられる。独立系統運営会社（ISO : Independent System Operator）がそれぞれの管理区域における電気の供給と送配電を管理している。ISOはそれぞれの管理区域における電気の需要量と供給量を監視し、必要に応じて、発電プラントの投入、増電、減電、遮断を決定している。

### 3. ピーク発電所の必要性

アメリカテキサス地区におけるピーカ発電の例を採り上げる。ピーカ発電とは文字どおり需要ピーク電力に対応する発電のことを言い、通常は、日常の電力需要特性カーブ（プロファイル）における需要ピーク時間帯に対応した発電を行うことを意味している。広義の意味では、自然災害による電力損失時のリカバリーや再生可能エネルギー源による不安定な発電のバックアップなどもピーカ発電の範ちゅうに入ると考えて差し支えない。テキサス地区では ERCOT（Electric Reliability Council of Texas：テキサス電気信頼度評議会）ISO が系統を管理している。ERCOT は 2 100 万世帯に電気を供給しており、これはテキサス州の電気需要の 85% を占め、面積でいうとテキサス州の 75% をカバーする。送電線は総延長 64 800 km で、550 以上の発電所をもち、夏の暑い日の電気需要は 6 300 万 kW に達する。通常の労働日（月曜日から金曜日）のピークは、第 2 図<sup>(2)</sup> に示すように、人々が帰宅しエアコンやストーブやテレビなどの電気設備を動かす夕方 5 時辺りに発生する。夜 7 時過ぎには需要は落ち始め、午前 3 時ぐらいまでには 3 000 万 kW 以下にまで落ち込むというプロファイルである。

テキサス州では天然ガスは豊富にあり、天然ガスを燃料とする火力発電が総発電力の 50% 以上を占め、ほとんどのガス燃料発電所は、50～100 万 kW 容量のコンバイン

ドサイクル発電プラントである（コンバインドサイクルとは、ガスタービンの排熱で蒸気を生成し、その蒸気で蒸気タービンを回して発電する仕組みのことであり、ガスタービン発電と蒸気タービン発電が複合で組み合わせられることによって高い発電効率を達成することができる形態を指す。一方、シンプルサイクルはガスタービン発電だけの形態をいう）。テキサス地区で特徴的なのは、コンバインド発電所に加えて、数多くのシンプルサイクルガスタービンが、ピーカ発電所として登録されていることである。アメリカ国内では 400 台を超える LM6000 が発電所として登録されているが、そのうちの実に 75% 強がシンプルサイクルのピーカ発電所となっている。LM6000 とは、ボーイング 747（アメリカ：ボーイング社）に代表される航空機用のエンジン（CF6-80C2）を発電用に転用したガスタービンであり、GE 社（アメリカ）の製品である。当社は GE 社との契約によって、LM6000 を OEM（Original Equipment Manufacturer）供給することを認められている。これらのピーカは日常の電力需要プロファイルに合わせて ISO からの起動要請を受け、夏場では夕方 5 時のピークを想定して、午後 3 時ぐらいから系統へ供給するための発電を要求されるのが普通である。ISO は統計的な電力需要実態に天候要素も採り入れて需要の変化を予測し、可能な限りピンポイントで、最も経済的なピーカに対して必要最小限単位時間の発電要請をきめ細かく管理している。このことからピーカとして成立するための条件



第 2 図 アメリカテキサス地区における日常の電力需要特性カーブ（プロファイル）<sup>(2)</sup>  
 Fig. 2 Weekday electrical demand profile for Texas, USA<sup>(2)</sup>

は、ISO からの起動・停止要請に対し分刻みでの電力供給・停止対応が可能なのが第一要件となり、その要件を満たす航空転用型ガスタービンがピーカ市場を独占しつつある。航空転用型ガスタービンのなかでも LM6000 は単機で 5 万 kW 近い発電容量をもち、停止状態から 10 分以内に最大定格出力に到達できる能力があるため、1970～1990 年代に生産された数多くの重構造型ガスタービン（あらかじめ、陸用・船用に開発されたもので、長期連続運転を前提としたガスタービン）やボイラタービンよりはるかに使い勝手が良く、ISO から最初に要請されるピーカとなっている。

#### 4. スピニングリザーブという市場

3 章で述べてきたピーカ発電はスピニングリザーブ発電とも呼ばれており、運転予備力という意味をもつ。天候急変などによる需要の急増、あるいは発電機を即時停止しなければならない事態の発生などによって、需要に対する供給力に不足が生じて、つねに系統周波数を適正に保持し、安定した供給を維持しなければならない。このような場合、あらゆる方法で供給力の増加を図る必要があるが、問題はいかに速く電力を系統に出せるか、という一点に尽きる。この能力のことを運転予備力と呼び、一般にはおよそ 10 分以内に供給力を補うことが必要とされている。その形態としては、たとえば、部分負荷運転中の発電機余力、停止待機中の水力発電、あるいはガスタービン発電機などが該当する。また、運転予備力の必要保有量は、事故の確率、需要の想定誤差、常時の周波数調整分などを考慮して決められるが、通常、需要に対し 3% 以上必要とされている。

アメリカ国内には、以下に示す七つの代表的な ISO が存在し、地域送電会社 (RTO) としても機能している。

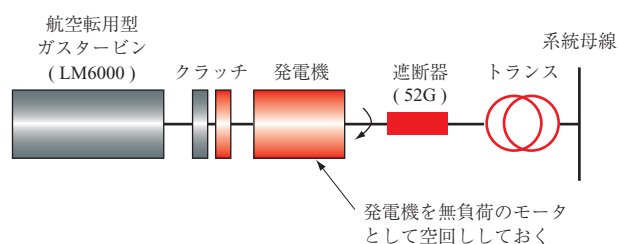
- ・ニューイングランド RTO
- ・ニューヨーク ISO
- ・ミッドウエスタン ISO (MISO)
- ・ペンシルベニア・ジャージー・メリーランド (PJM) ISO
- ・南ウエスタンパワープール RTO (SPP)
- ・テキサス電気信頼度評議会 (ERCOT)
- ・カリフォルニア ISO (CALISO)

これらの ISO の主要な業務は、日々分刻みで刻々と変化する電力需要を監視し、需要変化予測に対応して必要十分な量だけスピニングリザーブ電力を調達することである。

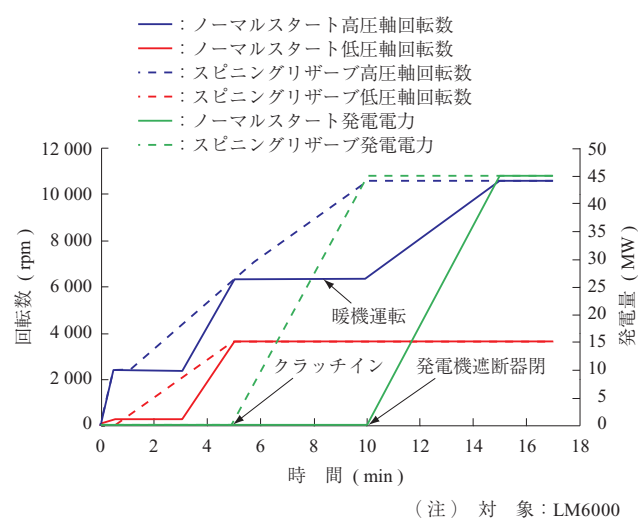
スピニングリザーブ事業者は当然、ISO からの要請を勝ち取るためにより速く確実に電力供給を実現しなければならない。そのことが LM6000 航空転用型ガスタービンという選択肢が最も好まれる背景になっている。さらには、1 分でも 1 秒でも起動時間を短縮するため、第 3 図に示すようなクラッチ結合のスピニングリザーブ発電方法による市場を拡大しつつある。この方法によれば、第 4 図に示すように通常の起動に比べて最大定格運転到達までさらに 5 分短縮することができるだけでなく、クラッチを切り離れた状態では発電機を同期電動機として回すことが可能であり、力率改善のための進相無効電力を供給し、系統での電力損失回避や電圧安定化といった利点がある。

LM6000 は、もともと航空ジェットエンジンという性質をもつため 5 万 kW/min を超える急速な出力変化が可能であり、今後停止状態から最大定格まで 5 分以内に到達するという高速起動・高速発電を実現する技術が確立するのも射程圏内である。

また、本稿では詳しくは述べないが、世界規模での再生可能エネルギー源に対する需要の高まりから、アメリカで



第 3 図 クラッチ結合のスピニングリザーブ発電方法  
Fig. 3 Clutch-coupled configuration of spinning reserve



第 4 図 クラッチ結合スピニングリザーブによる高速起動・高速発電  
Fig. 4 Fast start and fast loading employing clutch-coupled spinning reserve



は大規模な風力発電事業が盛んであり、天候変動による電力不足分をいかに速く補償するかという課題に対応するため、航空転用型ガスタービンによるバックアップ発電市場も急速に拡大している。

## 5. 日本での展開

日本における LM ガスタービン発電の歴史は 1988 年から始まった。最初は非常用防災設備などの電源として導入され、1990 年代前半には、商用系統電源としての適性調査という目的による研究発電が開始された。特に夏場、冬場のピークカット用としての性能評価がなされてきた。2000 年代に入ると、電気と熱の工場エネルギー源としての導入が盛んになり、さらに 2000 年以降進められている電気事業法改正による電力小売りの自由化対象拡大に伴って、特定規模電気事業者 (PPS) と電力購入契約をする発電事業者への導入も増えてきている。これらの応用例はいずれも、高速起動・停止、制限のない起動回数、高速の負荷変動追従といったような航空転用型ガスタービンの特長を活かしたものである。

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震 (東日本大震災) のあと、日本におけるエネルギーのあり方は確実に転換期を迎えている。震災前には地球温暖化防止やコスト低減などの大きな恩恵を受けていた原子力発電所の行く末は不透明であり、再稼働されない限り大きなベースロード発電を失っていくことになる。失われたベースロード発電は代替電源によって埋められるか、あるいは省エネ、蓄エネ、創エネなどのきめ細かい節電に頼ることになる。これらの節電効果を考慮する場合、失われたベースロードを丸々代替電源で補う必要はないであろうと考えるが、問題は、節電効果や代替電源の動的性質である。節電が一定量で安定に行われるということは考えにくい、再生可能エネルギーなどの代替電源は分類としてはベースロード発電であるが、極端に自然現象依存であり、とても安定な電源とはいえない。つまり、原子力発電所の停止に

よって失われたベースロード発電を埋める代替電源 (節電効果も含む) は極めて不安定な電源となる。この部分を少しでも安定な電源で代替するため、震災後、休止・停止していた大型火力電源を復活させるなどの対策を講じてきた。しかしながら火力発電といえども、燃料費や温室効果ガス規制によって、思うように運転できない場合も考えられ、安定電源とは言い難い。したがって、失われた原発ベースロード発電を代替する電源の本質は不安定であるということを理解しなければならず、そのような不安定な変動をタイムリーに補償する電源が必要ということである。アメリカで拡大しつつあるピーカ発電、あるいはスピニングリザーブ発電という方法は、まさにこれからの日本における電源供給体制に組み込むべき特長をもっており、航空転用型ガスタービンの機動性を最大限に活かした電源システムの提案を続けていきたい。

## 6. 結 言

現在日本では、遠い将来ではなく、極論すれば、明日からの電力供給の再構築を確立すべき時代に突入しており、多様な選択肢の電源構想を描かなければならないものと考ええる。必要なエネルギーを必要なときに必要な分だけ効率的に供給して使っていくという、比較的裕度の少ない需給バランスの電力ミックスになることは想像に難くない。原子力発電による大規模安定電源が減少している状況において、分散化電源、再生可能エネルギーなどの急速な展開によって電力系統の不安定化が高まるため、航空転用型ガスタービンによるスピニングリザーブ発電は必ずや表舞台に登場することになるものと期待する。

## 参 考 文 献

- (1) Mark Axford : Characteristics of Gas Turbine Peaking Market in USA (2010.10)
- (2) (オンライン) 入手先 <<http://www.ercot.com/gridinfo/>> (参照 2012-06-27)