第42回日本産業技術大賞

審査委員会特別賞

30MW級高効率ガスタービン「L30A」の開発

川崎重工業

川崎重工業の出力3万キロワット級ガスタービン「L30A」は高い発電効率と環境負荷の低減、整備性・耐久性に優れるのが特徴だ。中でも世界最高の発電効率40％以上は他の競合メーカーの性能を凌駕する。

出力3万キロワット級のガスタービンは、重構造型の産業用と航空エンジンを発電用にした航空転用があり、国内外のメーカーが熾烈な開発競争を繰り広げている。L30Aは産業用の特徴である整備性・耐久性と、航転型の効率性の両方の利点を融合した、新しいタイプの〝ハイブリッド〟機だ。笠正憲ガスタービン・機械カンパニーガスタービンビジネスセンター技術総括部ガスタービン開発部部長も「競合も多く競争は厳しい。半面、市場も大きい」と開発の背景を説明する。

「L30A」によるコジェネレーションプラント（川崎重工業提供）

高効率化のカギが圧縮機の高圧力比化だ。圧縮機は燃焼に必要な空気を高圧化する部品で、ガスタービン全体の性能を左右する。高圧力比化は高効率化につながる一方で、羽根の剥離などのリスクも高まる。従来機は圧縮機の圧力比が18程度だが、L30Aではこれを24・5まで高めた。

高効率、環境にも配慮

高圧力比化に向け、圧縮機では最適化翼形状生成ツールを導入。翼設計に最新の解析技術を導入し、全段の解析や段間のマッチング調整を行った。高圧力比化とともに、耐熱材料の採用やタービン冷却技術の改良なども組み合わせた。

開発過程では実機と同構造の14段、63％スケールモデルのリグ試験（全段要素試験）を実施。起動特性や段間のマッチングなどを検証した。圧縮機の特性を十分把握でき、翼列の角度変更など数値解析で詰められない解を導き出した。「限られた開発期間で試験機を作る手間も労力もかかった。だが圧縮機の特性を把握できた。改良点を生かすことで開発スケジュールも維持できた」（笠部長）。

燃焼器ではドイツのアーヘン工科大学で実際の運用時と同圧力・同温度での要素試験を実施。またL30A用に明石工場（兵庫県明石市）内に新たな試験設備を建設して試験体制も整備した。

L30Aは特徴は前段と後段の2軸構造にある。圧縮機と燃焼器を備えて高温・高圧の燃焼ガスを生成するガスジェネレーターと、燃焼ガスから軸動力を取り出すパワータービンで構成。ガスジェネレーターには従来の多段軸流圧縮機の技術や多缶型燃焼器、水平分割構造を踏襲。パワータービンには小型機械駆動用ガスタービンや国家プロジェクトとして研究開発した船舶用主機、スーパーマリンガスタービン（SMGT）の実績を生かした。2軸構造により個別の運用が可能。定期整備など交換作業を簡易化し、オーバーホール（分解・点検・修理）間隔の長期化にもつながった。

環境にも配慮している。高効率化による二酸化炭素（CO_2）の排出量の削減に加え、最新の低エミッション燃焼器により世界トップレベルの窒素酸化物（NOx）15ppm以下を実現した。

L30Aは2007年4月に開発に着手、11年11月に開発を完了。12年3月に受注を始めた。高効率性に加え、高い運用性も評価されている。商用1号機は12年10月からダイセルの姫路製造所網干工場（兵庫県姫路市網干区）で稼働を開始。電力と蒸気を供給し、運転時間は4000時間を超えた。

東日本大震災以降、電力システムのあり方が大きく変わった。電力網の主役の一つとして期待されるのが分散型電源だ。既存の大規模発電をベースにしたシステムではなく、企業や工場、地域社会など需要地近くに中小規模発電設備を設置し、電力を〝地産地消〟して系統電源への相対的な負荷を低減し、災害に強い電力網を構築する。電力に加えて熱利用で省エネ化するガスコジェネレーション（熱電併給）も重要な選択肢だ。これは国内だけでなく、経済成長で電力需要が拡大する新興国でも普及が進んでいる。

分散型電源の中核としてガスタービンに注目が集まっている。川重は中小型ガスタービンを独自開発し、高出力化・高効率化を図りながら製品群を充実させてきた。100キロ～2000キロワット級の「M1A」、6000キロ～8000キロワット級の「M7A」、1万800キロワット級の「L20A」があり、1977年に非常用ガスタービン発電設備の初号機を納入したのを皮切りに1万台以上の納入実績を持つ。L30Aは中でも最大出力・最高効率のフラッグシップモデルだ。

L30Aはコジェネシステムで総合効率が83％以上、蒸気タービンを組み合わせたコンバインドサイクル発電では発電効率50％以上を実現している。コジェネでは2万8400キロワットの電力と毎時46・2トンの蒸気を発生し、システム導入で省エネルギー化も可能になる。CO_2削減量は年約11万7000トン（51％減）、省エネ量は原油換算で年約2万4000キロリットル（29％減）に達する。

今後、3万キロ～10万キロワット規模のソリューション提案を進めていく方針だ。

また応用分野の展開も視野に入れる。駆動部の回転数を変えられる2軸機の特性を生かし、将来的に石油・天然ガス関連への機械駆動分野での展開を見込んでいる。能美伸一郎理事ガスタービン・機械カンパニーエネルギーソリューション本部長は「L30Aをもっと魅力的な商品にする。応用展開など多様な使い方を提案していく」と意気込む。市場への展開を加速していく。

審査委員会特別賞

新世代クリーンディーゼルエンジン「SKYACTIV―D」の開発

マツダ

2012―13年の日本カー・オブ・ザ・イヤーに輝いたマツダのスポーツ多目的車「CX―5」。ディーゼルエンジン（DE）の長所を生かしつつ騒音や震動を抑え環境性能を飛躍的に高めた。これを実現したDE「SKYACTIV―D」は、「新しいディーゼル時代の突破口」と高い評価を得た。従来のDEの概念を覆すものとして、ガソリンエンジン仕様車との価格差にもかかわらず、全体の7割以上をDEが占めている。DE仕様だけで年間2万6000台以上の実績があり、市場拡大に貢献している。

SKYACTIV―Dを搭載した「CX―5」（マツダ提供）

DEはガソリンエンジン（GE）と比べ二酸化炭素（CO_2）排出量が少なく、燃費が良いなどの優位性があるものの、排出ガスが汚く震動や騒音が大きいなどの理由から普及が遅れていた。特に日本市場では普及率が1％にも満たない。しかし欧州ではクリーンディーゼルの技術向上で、50％がDEともされる。SKYACTIV―Dは高価な貴金属触媒を使う窒素酸化物（NOx）後処理装置なしで、日本のポスト新長期規制や欧州のEuro6といった厳しい環境規制に適合した。後処理なしで適合しているのは同社のみという。そのうえ4リットルV8GE並みの最大トルクを実現。しかも1リットル当たりの燃費は18・6キロメートルと、同クラスのGEと比べ約30％燃費改善した。

圧縮比下げ、軽量化も

開発がスタートしたのは約7年前。ハイブリッド車（HV）や電気自動車（EV）がエコカーとしての認知度を高めていた時期に、マツダは内燃機関を徹底的に追求する「第3の道」を選んだ。開発当初から関わるパワートレイン開発本部エンジン性能開発部の中井英二部長は「開発陣にはDEの主戦場たる欧州の状況が伝わっているが、経営陣にどこまで通じるか不安な面もあった」という。良さは認めても、日本での普及率やさまざまな〝逆風〟を考えれば踏み切るには勇気が必要だった。それでもEVやハイブリッドではなく、内燃機関に経営資源を集中することでSKYACTIV技術が花開いた。「経営陣の理解がなければとても開発できなかった」と中井部長は振り返る。

まず、DEとGEに分かれていた開発陣を一本化。相互の意思疎通を強めた。開発に際しては内燃機関の効率改善には何が必要かを検討。改善には排出ガス中の熱として捨てられる「排気損失」、シリンダーから外部に逃げていく「冷却損失」、吸排気の抵抗として失われる「ポンプ損失」、部品の摩擦によって失われる「機械抵抗損失」を低減することだと結論づけた。そしてこれを低減するには七つの制御因子、すなわち「圧縮比」「比熱比」「燃焼期間」「燃焼時期」「壁面熱伝達」「吸排気行程圧力差」「機械抵抗」を制御すれば良いことが分かった。そしてこの因子を理想に近づけるには三つのステップを踏む必要があると判断。第一段階として「低圧縮比と高効率過給」の組み合わせから着手した。

DEは圧縮比が高すぎると燃焼室内が高温になり、空気と燃料が十分に混ざる前に燃焼が始まってしまう。このためNOxやすすが発生する。それを避けるため噴射のタイミングを遅らせると、燃費が落ちてしまう。圧縮比を下げて上死点でも噴射すれば、空気と十分に混ざり合う。NOxやすすの発生が抑制され、高価な後処理システムが不要になり、燃費も向上した。従来のDEは圧縮比が16以上だったが、このエンジンは自動車用DEとしては最も低い14・0を実現した。

圧縮比を下げれば環境性能上、有効だという考え方は当時からあったが実用化されなかった。低温時の始動性に難があり暖気運転時に失火する恐れがあるためだ。そこで燃料の噴射パターンを多彩化し、1回の燃焼で最大9回の燃料噴射が可能なインジェクターを開発した。さらに排気弁を開いて高温の排出ガスをシリンダーに戻す「排気二度開き」機構を採用した。

また大小二つのターボチャージャーを使い分け低回転域では小さなタービンで、中回転域では大小二つを制御して効率良く過給。さらに高回転域では大きなタービンで多くの空気量を過給できる仕組みとした。この高効率過給と低圧縮比との相乗効果によって環境性能とDE本来の力強い走りを両立できた。メリットはまだある。従来は圧縮比が高く最大圧力値は180気圧にも達する。よって鋳鉄製の頑丈なエンジンブロックが不可欠だった。14まで下げたことでアルミに置き換えることができた。ターボチャージャーは増えたがエンジン本体の重量は20％程度軽量化できたという。

さらにDEの難点だった騒音や震動の問題も解決した。そもそもDEは騒音が発生しやすく「音との戦い」な上、アルミ化したことでさらに増す可能性がある。そこで放射音の周波数を丹念に調べ音域をずらした。部品形状や配置を見直し設計に反映。一連の開発にはCAE（コンピューター支援エンジニアリング）やCFD（コンピューターによる流体解析）など最新ツールを活用。実機による検証頻度を減らし開発期間を短縮した。

同社が目指す「理想の燃焼」の第一段階はクリアした。搭載車のヒットもあって「開発担当者は一段と元気になった」。だが、内燃機関の理想の姿を完成させるにはまだ幾つかのハードルがある。それでも「目標がはっきりしており、一丸になっている」と、今後も理想の内燃機関を目指す。

Kawasaki

30MWクラスで
世界最高効率のガスタービン。

川崎重工は、1972年のガスタービン第1号機開発以来、
エネルギー利用の効率化と環境への配慮に取り組み、
10,000台を超える製造実績があります。
この「L30A」ガスタービンは、産業用の30MW級ガスタービンとして
世界最高※1となる発電効率40%以上を達成。
同時に、窒素酸化物の排出量も世界最高レベルの15ppm以下※2に抑えています。
同機を用いたコージェネレーション(熱電併給)システムでは総合効率83%以上、
蒸気タービンとの組み合わせによるコンバインドサイクル発電プラントでは、
50%を超える高い発電効率を実現できます。
今、国内ではエネルギーセキュリティに注目が集まり、
分散型発電へのニーズが、ますます高まっています。
また欧州、米州、アジア、中東では、電力需要の増加や、環境規制強化、
各種エネルギーネットワークなどであらたなニーズが生まれています。
川崎重工は、これからも国内外を問わず、エネルギー効率と環境性能を両立させる
ガスタービン事業を積極的に展開していきます。

世界の人々の豊かな生活と地球環境の未来に貢献する"Global Kawasaki"

※1:2012 GTW Handbook　※2:O_2=15%換算

川崎重工業株式会社　http://www.khi.co.jp