

最近の自家用火力発電

西島 捷二(にしじま しょうじ)

村上 隆(むらかみ たかし)

藤原 正洋(ふじわら まさひろ)

① まえがき

エネルギー需要の長期低迷と急激かつ大幅な円高は、自家用火力発電の分野にも様々な影響を与えている。

富士電機は、高効率反動タービン技術を持ち、しかも総合電機メーカーとして蓄積した総合エンジニアリングにより、多数の発電所を計画、設計及び建設してきた。

ユーザーニーズの多様化に適合し、経済性の高い発電所の建設に必要な技術開発と技術動向について、主に最近納入又は受注した廃熱回収用50MW 復水タービン発電から1.3MW 背圧タービン発電までの幾つかの設備を中心に紹介する。

そのほかに、既設タービンを新しい運転状況に適合させ、効率及び出力向上をねらう積極的な意味のリハビリテーションについても触れる。

地熱発電については省略する。

② ユーザーのニーズと技術動向

我が国のユーザーは、従来、石油化学、鉄鋼及び紙パルプに多いが、最近では機械組立など、従来、タービンの使用にさほど熱心でなかった業界にもタービン導入によるエネルギーコスト低減の動きがある。これはボイラ、タービン及び発電機などの主機器のほかに、公害防止及び制御の技術レベルが向上し、比較的小容量の自家用火力発電でも経済的な運用が可能となったためである。

米国では、廃熱回収発電で得た電力の一部を既存の電力会社に売電することで、企業化される場合が多い。

いずれの場合も、エネルギーコスト低減の手段は、次の五つのいずれかになっている。

- (1) 石油から石炭への燃料転換
- (2) ごみ焼却などの廃熱回収発電
- (3) コージェネレーションによる電力コスト低減
- (4) 主蒸気条件の高温高压化による効率向上
- (5) 既設発電所の改造による効率向上

我が国のユーザーの場合は、企業化の可否判定の作業及

び首尾よく機器が発注される時には、計画と建設のエンジニアリングの大半を主機器メーカーに担当させる場合が増加しており、富士電機は、ボイラ及び土木建築を含むフルターンキー方式の受注活動をしている。

他方、外国のユーザーは、エンジニアリング会社にエンジニアリング一式を、機器とは別に発注する場合が多い。

2.1 燃料転換とボイラ

石油と石炭の価格差が、石炭への燃料転換のキーポイントになる。ボイラ形式には、微粉炭焚き、ストーカ焚き及び流動床焚きの三つがある。

微粉炭焚きボイラ及び周辺機器の信頼性は、ここ数年来確実に向上した。電気集じん器によるフライアッシュのセメント原料としての回収は、この形式の持つ最大の強味であり、今後共に海外炭を焚くことを前提とした我が国の自家用火力発電のボイラ形式の主流を占めるものと考えられる。

ストーカ焚きボイラは、微粉炭焚きに比べ効率が劣り、しかも NOx 抑制に限界があることのほかに、容量的に大きなものがストーカの構造上、製作できないことから、蒸発量が50t/h 以下の比較的容量の小さいものに限定されると考えられる。

流動床焚きは、雑多な燃料を焚くことができる。特に、加圧噴流式は微粉炭焚き並みの541℃の高温蒸気を発生し、しかも SOx、NOx などの制御もボイラ内で可能であるから、特に容量の大きいボイラに適合する可能性を持つ。しかし、蒸気及び電力の大きな負荷変動を許容し、しかも山元発電のように特定の石炭のみを焚くのではなく、商業ベースで購入する各種の海外炭の使用を前提とした我が国の自家用火力発電への適合を正しく評価するには、まだ運転実績が少なすぎる。

代替エネルギーには、石炭のほかにペトロコークス、木くず、古タイヤなどがあり、これらを燃料としたボイラが稼動している。いずれも、燃料の長期安定購入の保証がいかなされるかがポイントである。ペトロコークスは灰分が少ない利点があるが、硫黄分が多く、しかも燃焼性が悪



西島 捷二

昭和36年入社。蒸気タービン設計(熱力計算)に従事。現在、川崎工場火力技術部プロジェクト部長。



村上 隆

昭和49年入社。地熱及び自家用火力発電設備の取りまとめ業務に従事。現在、川崎工場火力技術部主任。



藤原 正洋

昭和55年入社。自家用火力発電設備の取りまとめ業務に従事。現在、川崎工場火力技術部。

いのでボイラ形式にかかわらず注意が必要である。

2.2 ごみ焼却などの廃熱回収発電

我が国のごみ焼却発電は、従来より余剰蒸気による所内動力の確保という位置付けがあった。他方、米国では、いかに安価に多く発電するかに力点が置かれ、タービンの熱消費率の評価基準が高い。米国西海岸ロサンゼルス地区を中心に、富士電機が最近受注又は納入した総台数7、総出力103.89MWの発電設備は、保証点での発電機端出力を2,500～4,850US\$/kWで評価されることが引合い書の中に明示されている。これは為替率を1US\$=150円と仮定しても、37.5～72.8万円/kWであり、極めて高いことが分かる。

米国西海岸ロサンゼルス地区向けの発電設備については、[3]章で詳細に紹介する。

2.3 コージェネレーションによる電力コスト低減

コージェネレーションとは、一般にディーゼルエンジンやガスタービンを使用した分散形の発電を意味する場合が多い。しかし、御承知のごとく、我が国の自家用火力発電の大多数は、背圧式又は抽気式のタービンを使用した熱併給発電、すなわちコージェネレーションである。

純粹の復水式は、発電専用の事業用タービンに採用されているが、蒸気の再熱や再生をして効率向上の工夫をしても、熱エネルギーの多くを復水器で冷却水に放出するために発電効率が低い。それ故、電力網の十分発達した我が国では、廃熱回収を除けば、自家用火力発電には、復水式は経済的に成立しない。

我が国の電力会社は、電力需要の平準化をユーザーに促す電気料金制度を導入しており、ピークカット運転、深夜電力の使用は、自家用火力発電の計画及び運用上での追加検討すべき要素となっている。ピークカット及びプロセス蒸気量及び電力需要の変動を、比較的小さな復水部を持つ抽気復水式のタービンを採用することにより対応する。

[4]章で、主蒸気量220t/h、復水量50t/hを持つ、2段抽気復水タービンを紹介する。

燃料焼きボイラのほかに、廃熱ボイラを有するユーザーでは余剰蒸気が発生するが、これを混圧式のタービンを採用し、解決している。

5.1節に、40MW 2段抽気混圧復水タービンを紹介する。

2.4 主蒸気条件の高温高压化による効率向上

西ドイツでは、20年以上前に超臨界圧の背圧タービンが建設され、現在も稼働しているが、主に経済的理由から、その後の新設はない。我が国では、30～60MW級タービンで発電効率向上をねらって110K、120K級の主蒸気条件が採用されてきたが、最近の傾向として比較的容量の小さいタービンにも高温高压が採用される。

主蒸気量と主蒸気圧力の関係には、一般に使われている次式がある。

$$P_F = K \sqrt{G_F}$$

P_F : 主蒸気圧力 (kg/cm²g)

G_F : 主蒸気量 (t/h)

K : 定数

$12 \geq K > 10$ プラント効率の向上を考慮して選定する範囲

$10 \geq K > 8$ 普通、選定する範囲

吉野石膏(株)草加工場に納入した1.3MW背圧タービンでは、 $K=13.4$ となっている。 K の値が大きくなると、蒸気の容積流れが過少となり、タービン内部効率を高くすることが難しくなるが、高効率設計の採用により、タービン内部効率83.2% (実測値) を達成している。

2.5 既設発電所の改造による効率向上

我が国では、石油が安価に豊富に入手できた昭和30年代後半から昭和40年代にかけ、多数の自家用火力発電が建設された。その後、二度の石油危機を契機にした省エネルギーの進展と、生産品構成の変化により、確実にプロセス蒸気量は減少した。他方、自動化及び公害防止設備の増強は電力需要の増加をもたらした。更に、深夜料金制度の導入により、発電所の大半は、建設当時と様変わりの効率の悪い部分負荷運転を余儀なくされた。改造の範囲は、小はポンプ・インペラのカットから、大はタービンのリブレースまでである。

富士電機のユーザーの中では、出光興産(株)が一番早く、その所有のタービンを次々と新しい運転状態に適合するように改造した。

[5]章に比較的大きな経済効果を生むタービンの改造例を紹介する。

[3] 米国西海岸ロサンゼルス地区廃熱回収発電

米国では、PURPA (公益事業規制政策法)、ETC (エネルギー減税) 及び ITC (投資減税) の施行により、廃熱回収発電の建設が促進された。

富士電機が受注又は納入した実例を紹介する。

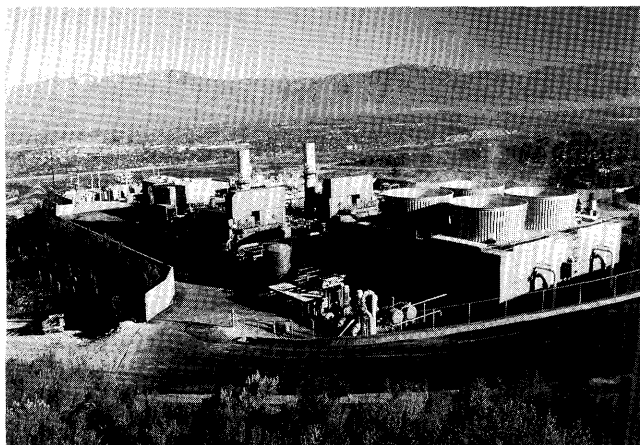
3.1 50MW ごみ山ガス回収発電

ロサンゼルス郡衛生局が建設したごみ山ガス (主成分はメタンと二酸化炭素) 回収発電に、50MW 復水タービン・発電機一式を納入した。93.16kg/cm²g, 537.8℃の主蒸気により駆動される高効率反動タービンであり、昭和62年2月から順調に営業運転入りしている。タービン・発電機は、現地据付工事短縮のために、一体組立の上輸送した。[図1]に発電所全景を示す。

3.2 12.4MW 抽気混圧復水タービン・発電機

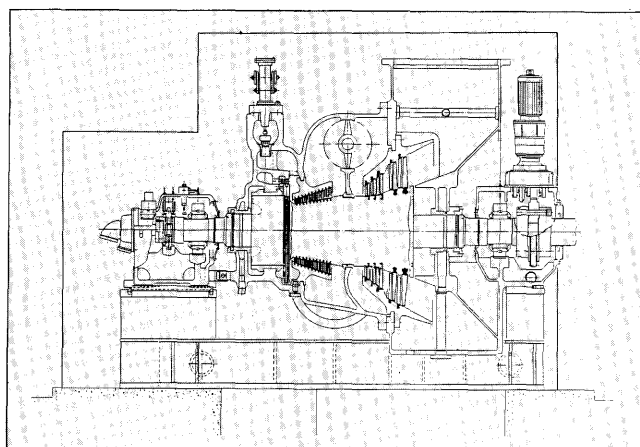
ロサンゼルス郡から受注し、現在製作中のタービン・発電機は、22MWのガスタービンと組み合わせたコンバインドサイクルとして使用される。主蒸気条件は、18.3kg/cm²g、飽和を持ち、抽気及び混気を同一ポートで行うためにケーシング内蔵式ロータリ弁を設けている。

図1 50MW ごみ山ガス回収発電所全景



N97-427

図2 12.4MW 抽気混圧復水タービン組立断面図



タービン・発電機は、ロサンゼルス市中心のシビックセンターの地下に設置するため、主蒸気及び排気口共に、ケーシング上部に上向きに設けている。

図2にタービン組立断面図を示す。

3.3 コマース市向け12.05MW 復水タービン・発電機

コマース市とロサンゼルス郡衛生局が共同で建設したごみ焼却発電であり、昭和62年1月から営業運転入りした。10MWは、南カリフォルニア・エジソン社へ売電している。本タービン・発電機は、ATS（自動起動装置）と保護装置自動試験装置を持ち、省力化のユーザーニーズに適合している。

3.4 18.12MW コンバインドタービン・発電機

ロサンゼルス市が建設中の世界最大規模の污水处理場に使用される。富士電機は14.7MW 復水及び3.42MW 背圧タービン・発電機を納入する。4台のガスタービンからの廃熱を回収するボイラ、及び乾燥汚泥を燃料とする流動床ボイラから蒸気の供給を受ける。

3.5 カーソン市向け11.32MW タービン・発電機

ロサンゼルス郡衛生局が建設中の污水处理場に使用される。富士電機は、9.4MW 抽気復水及び1.92MW 背圧ター

ビン・発電機のほかに、給水系統機器一式を受注した。

乾燥汚泥焼却の流動床ボイラから蒸気の供給を受ける。

④ 42.5MW 単気筒反動式2段抽気復水タービン

国内某社から55.5MW 発電設備を受注し、現在、現地据付工事を進めている。1号タービンは、主蒸気条件127kg/cm²g, 538℃を持ち、15K, 9K 及び4K の3系統のプロセス蒸気量を供給する2段抽気復水タービンである。これは、世界的に見ても製作台数の少ない多機能マシンであり、若干詳細に説明する。図3に組立断面図を示す。2号タービンは、ATS（自動起動装置）を装備した9 K系を主蒸気とする復水タービンである。

4.1 ケーシング

二重ケーシング構造とし、水平分割面のほかに低压部には垂直分割面を持つ。前部ケーシングはCrMoV 鋼とし、後部（排気）ケーシングは鉄板溶接構造を採用した。前後部ケーシング間の垂直分割面は、ボルト締めしており、工場製作時締結した後は、定期点検時も分割することなく一体構造物として扱う。

主蒸気流入部は、一体形挿入ノズル室構造とし、主蒸気止め弁及び蒸気加減弁を収める蒸気室を前部ケーシング上部に一体鋳造している。9K 及び4K 抽気加減弁を収める蒸気室は、中央に仕切板を持つブロック構造とし、前部ケーシング上部に配して軸方向長さの短縮を図った。15K, 9K, 4K 系抽気口及び排気口は、すべて下部ケーシングに設け、下向き取付とし、組立分割を容易にした。

4.2 車軸

広い温度範囲で十分な強度特性を持つCrMoNiV 鍛鋼を選定した。タービン内部効率の向上と安定した車軸振動特性の確保という矛盾した二つの課題を、比較的長い軸受間距離と太い高圧翼列部胴径の採用によりクリアした。

図3 42.5MW 2段抽気復水タービン組立断面図

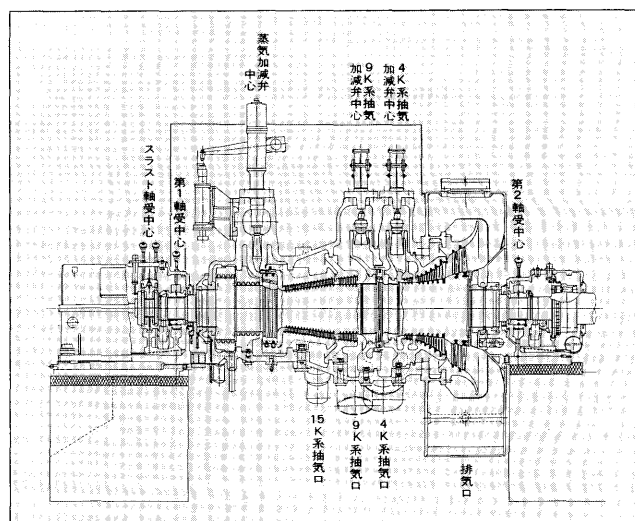
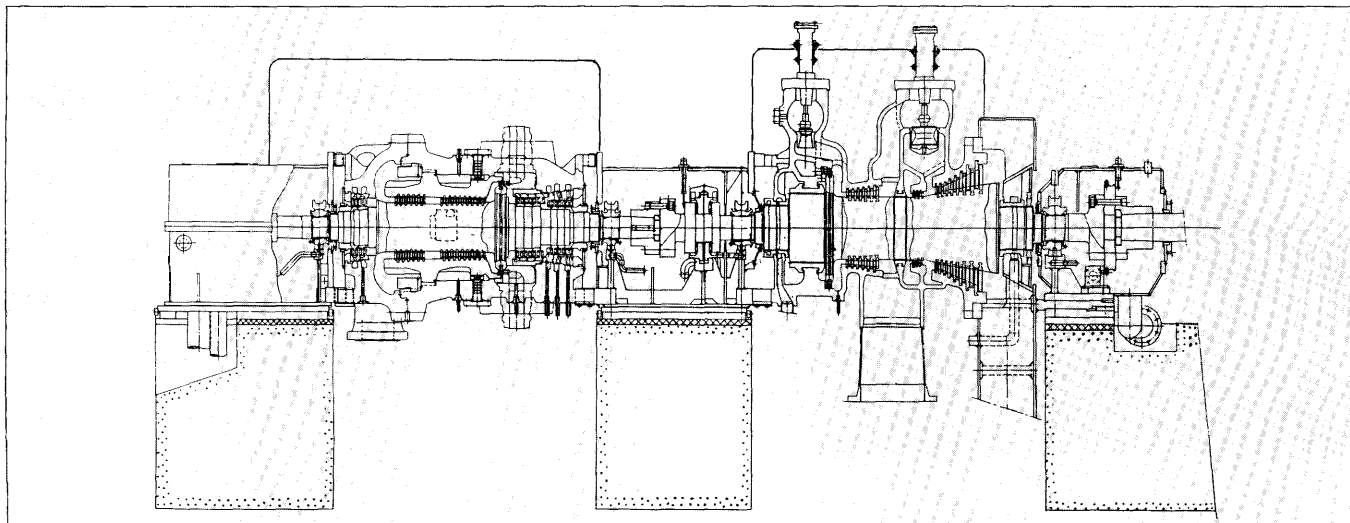


図4 40MW 2段抽気混圧復水タービン組立断面図



4.3 翼列

円頭翼形、高効率車軸設計、削出し囲い輪付動翼の採用など、高効率設計技術を駆使した。低圧最終2段には、安全性と高効率を兼ね備えた精密鍛造製の自立式テーパ・ねじり標準低圧動翼を採用した。

4.4 短期間定期点検対策

機械組立工場の短い全休期間に合わせ、定期点検を行う計画をした。タービン停止前に主蒸気温度を計画的に下げた状態で低負荷運転し、ケーシング及び車軸を冷却した後に、負荷遮断を行う。自然冷却により一定期間ケーシングを冷却した後、主蒸気止め弁前より空気を強制的に送り込み、排気ケーシング上部から大気放出する。自然冷却より約2日間ケーシング分解開放開始時期を早めることが可能となる。なお、強制冷却後に必要により車軸をジャッキアップする機構も併せて採用した。

⑤ 既設タービンの改造

富士電機は、今までに約20の既設タービンの大規模改造工事を行ったが、ここでは代表的な3例を紹介する。

5.1 40MW、2段抽気復水タービンの混圧式への改造

出光興産(株)愛知製油所が、FCC(重油流動接触分解装置)の新設に伴うエネルギー有効活用の一環として計画実施した。主蒸気条件 $125\text{kg}/\text{cm}^2\text{g}$ 、 537°C を持つ高圧タービンの反動翼列の中間部に、新設の廃熱ボイラからの蒸気を混入した。混圧蒸気条件は極めて高い $50.5\text{kg}/\text{cm}^2\text{g}$ 、 400°C であるが、水平フランジのない、つぼ形ケーシングを採用し、温度変化にも十分な安全性を持つ設計とした。改造の前後では、蒸気量が大幅に変わったので、高低圧タービン共、新しく設計製作した。

軸受台は既設をそのまま使用し、既設タービンの撤去と

新設タービンの据付工事を製油所の全面停止する限られた短期間に実施した。図4にタービン組立断面図を示す。

5.2 25.2MW 抽気復水タービンの移設

新日本製鐵(株)大分製鐵所は、CDQ(コークス乾式消火設備)発電の新設にあたり、沖縄電力(株)の発電専用の富士電機製30MWタービン、発電機、復水器一式を移設した。電力会社向けの高効率機であり、しかも使用期間が短く、使用条件に完全に適合していたことが移設を可能とした技術的な理由であった。

改造は極めて小規模であり、高低圧ケーシングの蒸気連結管に抽気加減弁を追加した。タービン・発電機は屋外式とした。制御機器は新品とし、CRT監視を設けている。

5.3 2×20MW 復水タービンの抽気式への改造

韓国・浦項綜合製鐵(株)に納入した復水タービンを、プロセス蒸気量 $50\text{t}/\text{h}$ を供給する抽気復水タービンに改造した。新設計、製作の前部ケーシングを既設の後部ケーシングと現地で垂直面でボルト締結した後、既設の軸受台に据付できるように計画した。

⑥ あとがき

自家用火力発電は、膨大なエネルギー消費を前提とした現在の人間の営みの一端を支えている。しかも、国際化時代の経済、政治、社会及び技術革新は、火力発電の建設計画、運用及びリハビリテーションに際し、複雑に影響する。新しいニーズは、既成の概念及び経験を越えたレベルの技術改革をもたらす。

例えば、三つの系統のプロセス蒸気量を抽気する新開発の高効率反動単気筒2段抽気復水タービンは、富士電機のタービン技術を集大成したマシンである。

本稿が、自家用火力発電の建設計画の御参考になれば望外の幸せである。



＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。