

産業用蒸気タービンの運用法改善

Energy Saving Operation for Industrial Steam Turbines

エネルギー事情が急激に悪化している現状で、資源のない我が国では省エネルギーは重要な国策の一つである。

このため、各業界ともエネルギーの有効活用を重点目標に取り組んでいるが、その中で、プラントの動力源として電力と蒸気を併給する発電プラントは、省エネルギーの対象として注目を浴びている。特に、減量経済下で生産構成が変化しプラントの低効率運用が余儀なくされている現状では、タービンの効率改善、プラントの余剰蒸気利用、タービンの出力アップなどにより、プラントの運用法の改善と同時に、省エネルギーを図ることが急務とされている。

この論文では、以上に着眼し既設発電設備の有効な活用方法の幾つかについて紹介する。

金子了市* Kaneko Ryôichi

西村康文** Nishimura Yasubumi

1 緒言

省エネルギー策は、自家発電設備の規模、運用状況に応じ検討の対象も変わるが、対象を的確にとらえ、かつ十分な検討を行ない効果を見極めることが重要である。

産業用タービンは、電力とプロセス蒸気をバランスのとれた状態でプラントへ供給していたものが、減量経済への移行によりプロセス蒸気使用量が減少し、その結果発電量が所要電力量以下に減少した。このため、発電設備の蒸気、電力併給バランスが崩れ、プラント運用上低効率、低発電などの問題が生ずる。

プラントへエネルギーを供給している部門では、既設備を最大限に活用できる案として、

- (1) タービンの効率の改善
- (2) 余剰蒸気の動力回収
- (3) 発電能力の増強
- (4) プラントの運転条件の変更

などに着目し、省エネルギーに取り組む必要がある。

これらの着想に対し、

- (1) 定格負荷、あるいは部分負荷での効率改善、また、2台あるいはそれ以上のタービンで最適な負荷配分を設定し、運用負荷の増大を図る。
- (2) 混圧タービン、又は低圧タービンを設置し、余剰蒸気の活用を図る。あるいは小形タービンを新設し、既設電動機の運用を切り替える。
- (3) 蒸気条件、あるいはプロセス蒸気圧力の変更運用に対応し、タービン出力の増加を図る。

など、省エネルギー策が容易に実現できる手法を取り上げ、改造内容、効果の考え方などについて概説する。

2 タービンの効率改善

タービンの効率改善は、直接運転コスト(燃料、買電量)の低減につながり、省エネルギーの中でも簡便な手法である。改善のポイントはプラントの運転状況にもよるが、定格負荷での効率向上、又はプラントが既に長期にわたり部分負荷運

転となっている場合での効率向上が考えられる。

2.1 定格負荷時の改善¹⁾

定期点検で機器が予防保全され、建設時期の古いタービンでも安全に運用されているが、効率はその間経年的に劣化しているのが実態である。

この場合には、定格出力で常時運用され、かつ比較的大きい容量をもっているタービンが対象になる。効率改善は、**図1**に示すようにノズル及びブレードを高効率のプロファイルへ変更し、ラビリンスパッキン及びダイヤフラムのパッキン間隙を適正值に復帰し、蒸気の漏れを減少することなどを組み合わせることで可能である。改造の範囲は、高圧・中圧段落ダイヤフラム及びブレードの新製交換、並びにパッキンを

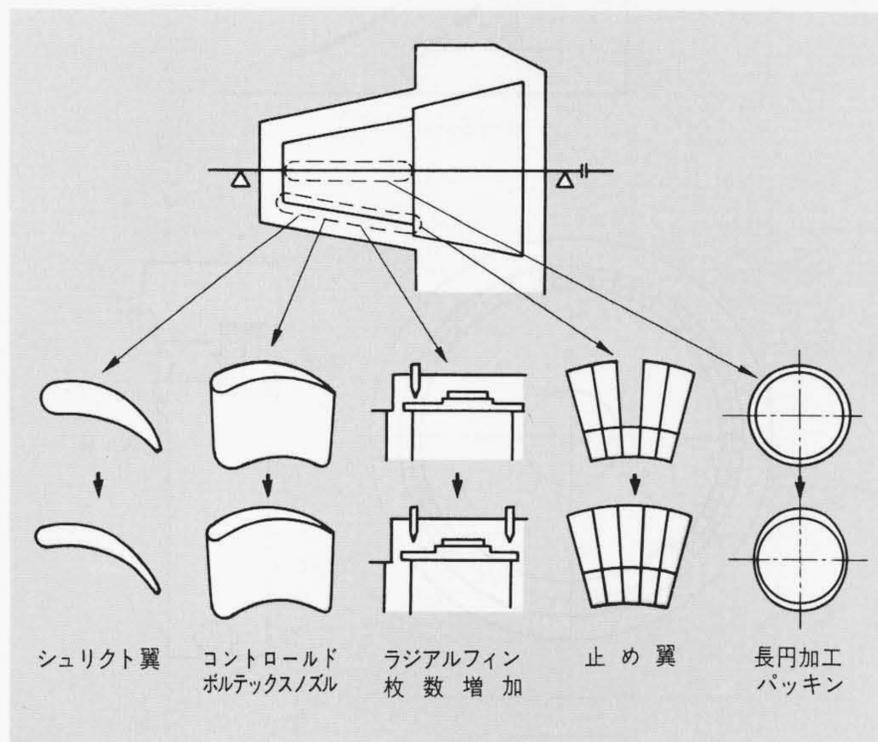


図1 定格負荷時の効率改善手法 蒸気タービンの内部効率は、高性能改良翼の使用、間隙調整などにより2~4%向上できる(部分負荷の場合も向上する)。

* 日立製作所日立工場 ** 日立機材工業株式会社

新製し適正な間隙に設定する。この方式を検討するとき、現状運転の性能レベルの確認、定期点検時のパッキン類の間隙記録確認が必要である。改善の効果は、改造範囲にもよるが2~4%程度期待することができる。

2.2 部分負荷時の改善²⁾

ほとんどのタービンは、プラントへ電力、プロセス蒸気を併給する発電方式で高効率で運用するように計画されているが、減量経済への移行により電気負荷のバランスが崩れ、タービンは低効率部分負荷運転を余儀なくされている。この状態で、若し電力デマンドが緊迫し買電単価が高価であると、運転期間が長いほど多量のエネルギーをむだに消費することになるので、タービンの部分負荷時の効率改善により、プラントの高効率運用への回復が省エネルギーとして効果がある。

蒸気タービンは調整段落以外の段落のスチムパスが一定であるので、部分負荷に応じ調整段落以降の段落圧力が低下する結果、各段落の適正な圧力配分が崩れタービン効率が低下する。この圧力配分を、部分負荷時で定格負荷時と同じように配分すれば、**図2(a)**に示すように定格負荷時とほぼ同じ効率を達成することができる。効率改善は、予想される部分負荷が低いほど大きく期待できるので、運用パターンを正確に設定しなければならない。

改造は**図2(b)**に示すように、スチムパスの変更でダイヤフラムのノズル入口部に閉塞板を溶接する方法と、同じものを新製するものと二通りある。一般に適用可能なタービンの種類ないしセクションは、背圧タービン、抽気背圧タービン、復水タービン及び抽気復水タービンの低圧セクションを除くセクションである。

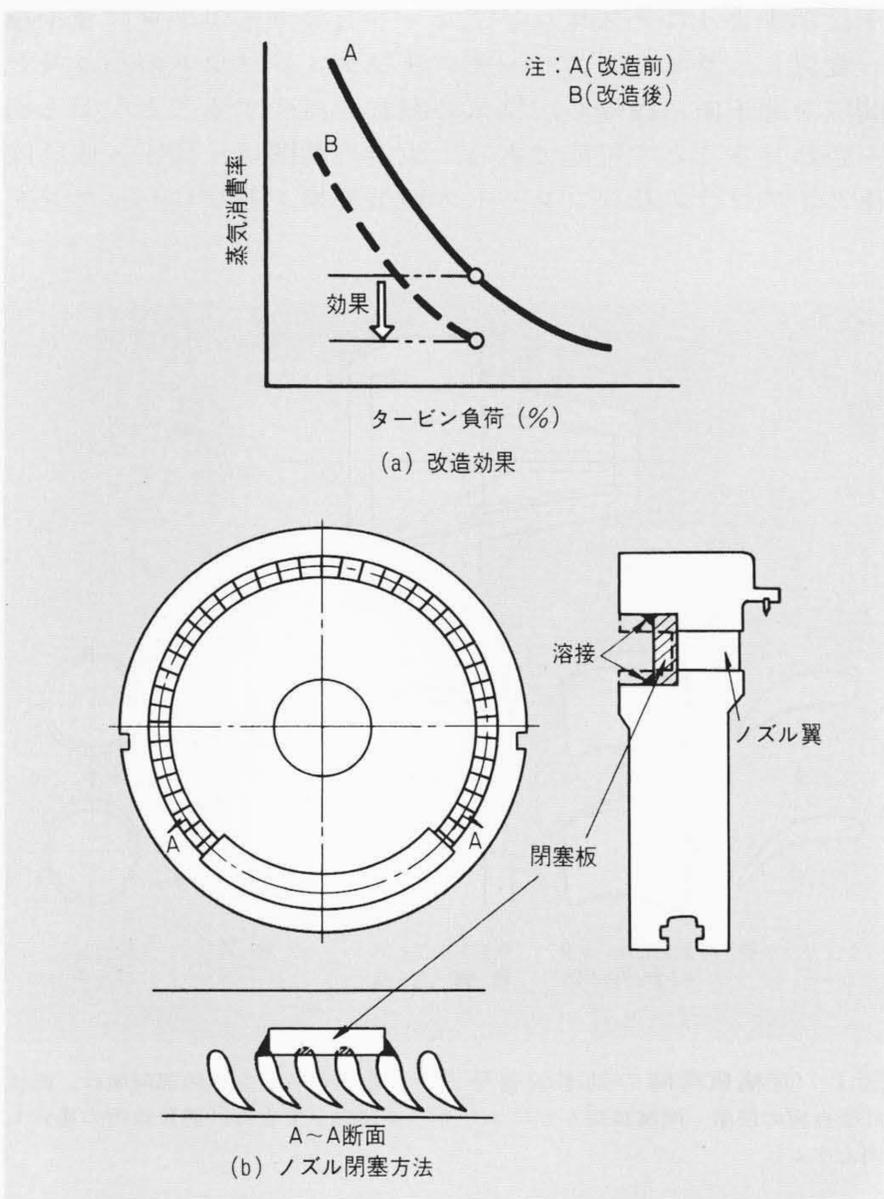


図2 部分負荷時の効率改善手法 スチムパスの調整(減少)により段落圧力配分を適性にし、効率を向上させる。低負荷に対しより効果的である。

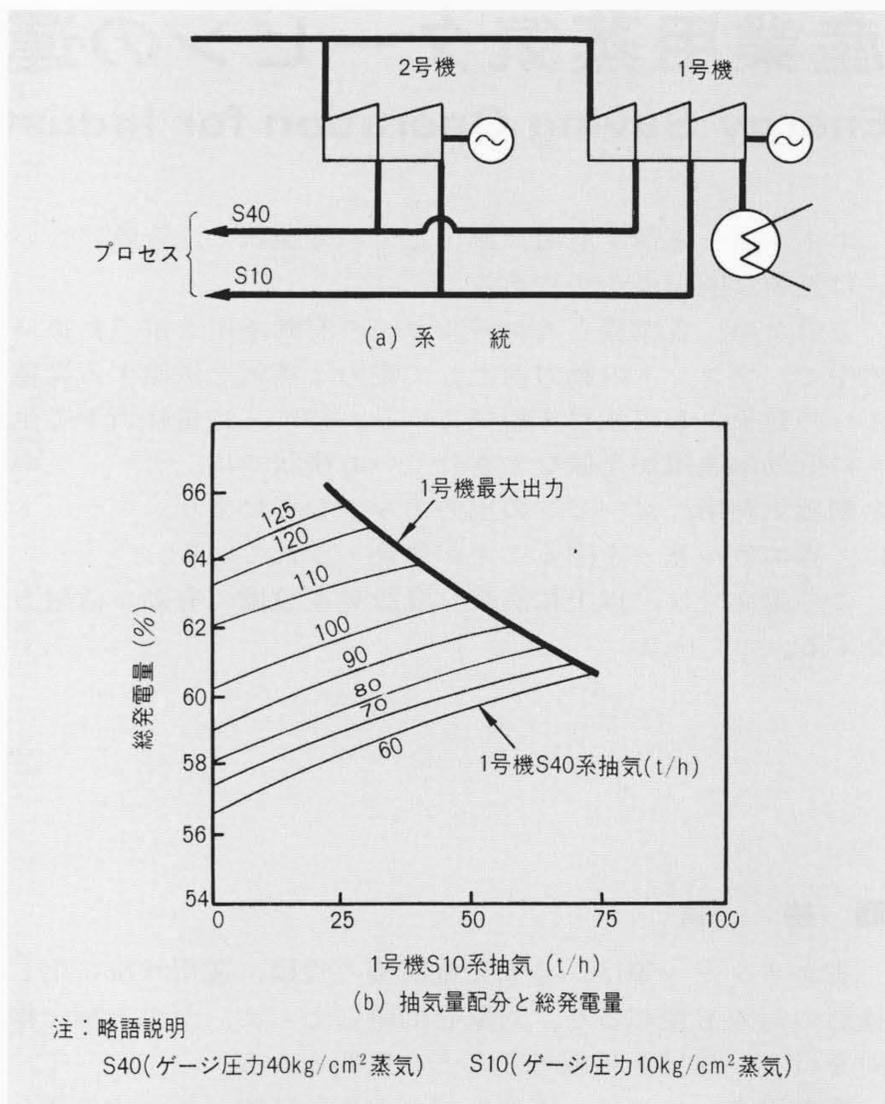


図3 最適負荷配分の効果 複数の蒸気タービンに対し、例えば総主蒸気流量及び総プロセス抽気量一定の条件下で、それぞれのタービンの抽気量配分を適性にし、最大の総発電量を得ることができる。

これまでの改造実績で最も効果のあった例では、35MW抽気背圧タービンに対し、2,000~3,000kWの出力利得が得られた。

2.3 最適負荷配分による改善

経済運転に適したタービンが、2台あるいはそれ以上設置されている自家発設備で、ひとたび運転パターンが崩れると最適効率の運用にはならない。**図3**²⁾の例で示すように、抽気背圧タービンと2段抽気復水タービンのように形式の異なるタービンでプロセスシステムが共通している場合、各々のタービンの抽気系、排気系の蒸気量の分担を再配分することにより、プロセス蒸気量に対しそれぞれのタービンの総発電量が最大となる運転を新しく設定することができる。この手法は、各々のタービン特性を把握するだけで費用もかけずに設定することができ、運転コストの低減が図れる。

2台を超えるタービンの場合は、運用組合せの次元も増えるので、コンピュータにより負荷配分を制御することになる。

2台のタービンでプロセス蒸気量が減少した場合、少なくとも1台のタービンは最適負荷運転とはならず、低効率の部分負荷運転となる。これは、先に述べた部分負荷時の効率改善が適用でき、プロセス蒸気の低下量に応じて最適負荷配分と併用しながら、発電設備の高効率運用を図ることも可能である。

3 余剰蒸気の活用

プラントの近代化、あるいは生産方式の改善などにより、既設備のプロセス蒸気の使用量が減りその分、余力となる。また、生産プロセスの中で廃熱源を有効活用することで新たな蒸気源も得られる。これらの余剰蒸気は、各業界の操業度によって量もまちまちであるが、このエネルギーを有効に動

力として回収することは、省エネルギー方策として有効である。

動力は電力又はポンプ、圧縮機などの動力として回収するか、あるいは既設備の電動機を蒸気タービン駆動方式へ変更することも可能で適用範囲も幅広い。しかし、余剰蒸気のエネルギー量によってはその範囲も限定されるので、余剰蒸気の条件を的確に把握しなければならない。

3.1 混圧タービン

重油ボイラからの高圧蒸気と回収ボイラからの中・低圧蒸気とを組み合わせた混圧タービンは、従来建設されたケースであり、中・低圧蒸気はプラントの廃熱源を有効活用したものである。

省エネルギーを志向するとき、既設プラントの運用によって余剰プロセス蒸気を有効活用した混圧タービンも当然考えられ、これは熱源側の建設費が伴わないので混圧タービンをより有効に適用することができる。この場合、余剰蒸気の特徴、すなわち蒸気条件、蒸気量が発電量を決定するので、これらの条件をプラントの事情から明確にしておく必要がある。適用の方法は、混圧タービンを新設するもの、あるいは既設抽気系のタービンを混圧タービンとして流用するなどの応用が考えられる。

図4に示す応用例は、高・低圧蒸気源として共にプロセス余剰蒸気を活用した実例で、運用法に柔軟性をもたせるため混圧、抽気兼用で計画してある。なお混圧タービンは制御要素が多いため、制御性の優れた電子式ガバナが使用される。また、この方式は将来の運転の省力化、自動化への対応が容易である。

3.2 低圧タービン

プロセス操業度の低下による中・低圧の使用蒸気量の減少に伴う余剰蒸気の発生、あるいはプラントの廃熱を利用して発生させる低圧蒸気源は $3\sim 10\text{kg/cm}^2$ 系が多い。それらの蒸気は、従来は動力回収以外の目的に利用されるか、あるいは廃棄されていたが、これらの蒸気を動力として回収する目的に利用されるのが低圧タービンである。低圧タービンの特徴としてはタービン形式は復水式が主流であり、蒸気の圧力や温度が低いため、蒸気の容積が大きくなり蒸気弁の口径が大きくなる。更に、蒸気の湿りによるドレン浸食の問題、あるいは大容量タービンでは最終段落翼長が長くなるなどの問題があるが、現在の技術レベルで十分対処することができる。

また、これらの蒸気源は一般に安価であるため、その蒸気源で動力を回収すればするほど、タービン設置のメリットが

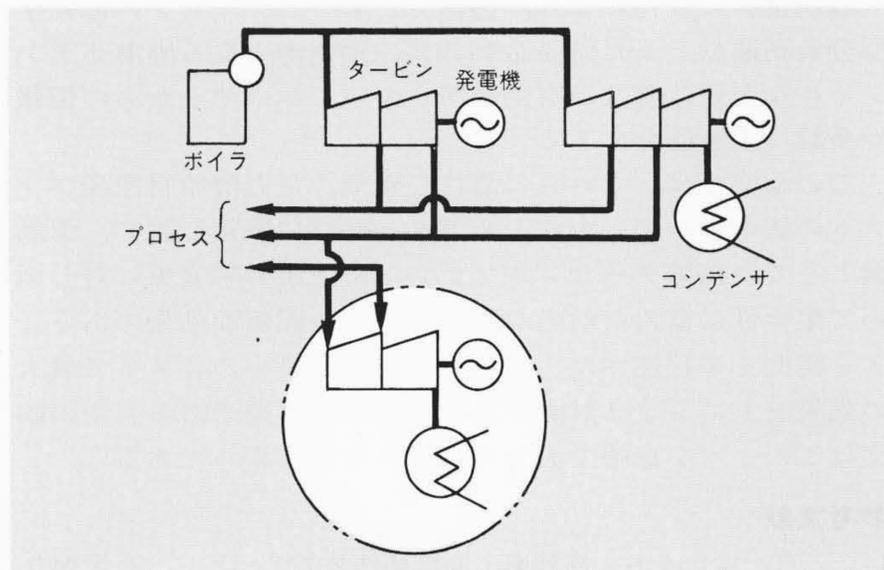


図4 混圧タービンの実施例 プロセスでの使用蒸気の減少は、発電量の減少を招く。このプロセス蒸気による混圧タービンの設置は、総発電量の大幅増のほかに、トップタービンの高効率運転というメリットを生む。

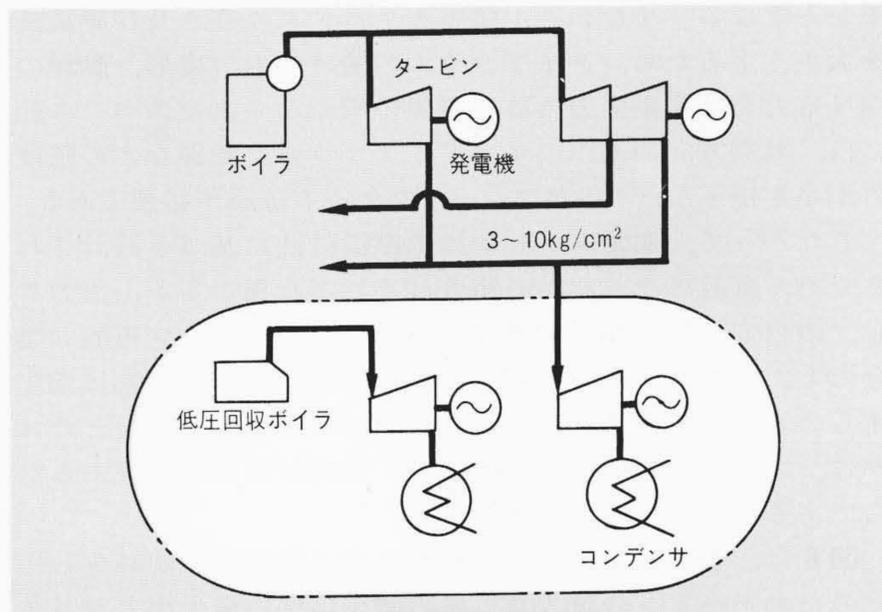


図5 低圧タービンの適用例 図4の例と同じく、余剰蒸気の利用及び廃熱回収による低圧蒸気を有効に利用し、低コストの発電及び省エネルギーが可能となる。

出てくる。図5に低圧タービンの適用例を示す。ごみ焼却プラント発電設備用タービン、地熱利用蒸気タービンなども、低圧タービンの部類に属する。

3.3 電動機の蒸気タービンへの切替

余剰蒸気のエネルギーによっては回収動力も小容量となり、発電設備などの大形システムへの応用にもおのずと限界がある。しかし、小容量のものは既設の電動機駆動方式で運用しているポンプ、ファン、圧縮機などの動力を蒸気タービンに切り替えることが可能である。この方式は前述の低圧タービンと異なり、直接所内動力を確保し買電電力を節減する省エネルギーである。プラントの運用状態を十分確認し、余剰蒸気量を集約することできめ細かい応用ができるので、条件の設定を明確にすることが大切である。

4 運用方法変更への対応

既設の自家発電設備も、生産プロセスの合理化あるいは生産量の変化などにより、プロセスのエネルギー需要が変化し、タービンの抽気圧力、排気圧力など運転条件の変更を伴う場合がある。

この場合、既設タービンの使用限界を確認し可能な範囲で対応することになるが、一部の改造によってタービンを広い範囲で運用可能とすることができる。

例えば、プロセス蒸気に余裕がある場合には、タービンの出力増加を図り、また、プロセスの蒸気圧力を現状より下げることがプラント運用上可能な場合は、抽気圧力、排気圧力の設定値を変更し、タービンの出力増加を期待することができる。

復水タービンでは、復水器に多量の潜熱を捨てるため、発電コストが高くなる条件では復水タービンによる発電を中止する場合がある。例えば、抽気復水タービンの場合の復水セクションの最少流量運転ないし撤去である。後者は、抽気復水タービンの背圧タービンないし抽気背圧タービンへの改造である。この場合、減少した発電量は、相対的に安価となる買電、又は発電単価の安価である前章の例で述べたような他の発電設備の設置などで補うことになる。

4.1 タービンの出力アップ

この項で述べる出力アップは、4.3項の場合と異なり、主に既設タービンのスチームパスの増加により主蒸気流量を増量させ、出力アップを図る方法で、既設タービンのスチームパス部強度及びスペース的裕度が出力アップの量を決定するポ

イントとなる。すなわち、強度面ではノズル高さ及び動翼長を大きくするため、ダイアフラムの曲げ応力、変形、動翼の曲げ応力及び振動応力の許容限界の確認が、またスペース的には、翼高方向のスペース、ダイアフラム、動翼などの強度の不足を補うための段落スペースの余裕の確認が必要である。

したがって、通常タービンは標準設計法に基づき設計されるため、既設のタービンの裕度はそれぞれ異なるが、出力アップの目安は最大10%程度である。また出力アップ可能な場合でも、既設タービンの裕度により改造コストは大幅に変化することがある。これは上記した内容に関する問題などのほかに、プラントを構成する配管系の問題が絡む場合があるからである。

図6は、上記とは異なりプロセスでの使用蒸気が減少し、そのためタービンの流入蒸気量の減少に伴い発生出力が減少した背圧タービンの例を示すものであるが、図示のように排気系統に別の蒸気消費機器を設置し、タービンの出力アップを図るケースである。これは3.2項の低压タービン設置のケースに類似のものである。

4.2 プロセス蒸気圧の変更

プロセス側の運用に応じ許容できる範囲で、タービンの抽・排気系の圧力に変化が生じた場合、タービンの各セクションの熱落差に変化が生ずる。この変化が排気圧力の低下、又は抽気圧力の変化が出力分担の小さいセクション方向への場合、タービンの蒸気消費率が向上し出力の増加となる。これは、プロセス蒸気を供給するタービン、すなわち背圧タービン、抽気タービンに広く応用できる。

ただし、抽・排気圧力の規定値からの偏差は、その部分に近接するタービン段落のダイアフラム、ブレードなどのスチームパスの強度、あるいは伸び差などの機械的設計要素に対し、運用変更後支障のないように十分な検討が必要である。制御機構では、圧力調整機の調圧範囲の確認、変更、また過負荷に対する加減弁開度の制限機構の改善、又は設置が必要である。

一方、プロセス系統に対しては配管系の流速、安全弁、大気放出弁の容量、減圧減温装置の能力などのシステムのチェックが必要となる。

この運用法によるメリットは、4.2項と同じく上記の出力増によるメリットとコストとのバランスにより評価される。

4.3 タービン形式を変更しての運用

この方式の典型例は、図7に示すようにプロセスに蒸気を併給し抽気復水形式で発電するタービン設備を、背圧ないし抽気背圧タービン形式に切り替えるものである。この必要性は、オイルボイラによる復水タービン形式の発電が原油価格の高騰によりコストの急騰を招いたことに起因し、復水器への潜熱廃棄のむだを減少させることを目的とする。この対応策としては、復水セクションの最少流量(クーリング)運転、

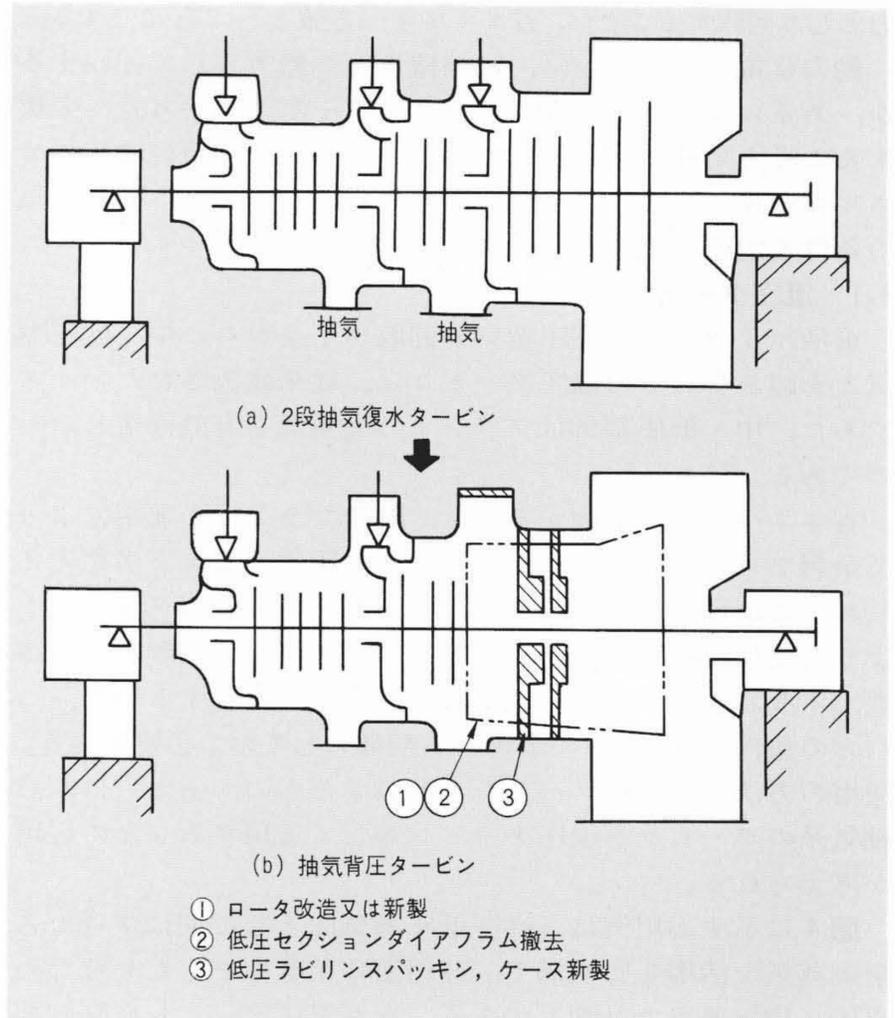


図7 タービン形式変更応用例 復水発電がコスト高の場合の抜本的解消法を示す。復水セクションの翼車を軸部に改造し、抽気復水タービンを抽気背圧タービンにする方法である。

又は前述の復水セクションの撤去(動翼除去、グランド部移設)の2方法がある。発電設備の運用条件しだいでは後者が抜本的対応策であり、復水設備の動力削減などの二次的メリットが生ずる。

この手法の適用に際しては、制御機構の変更、伸び差などの機械的設計要素の検討の必要性は4.2項の場合と同等であるが、グランド機構の移設及び軸振動の検討が新たに技術的課題となる。しかし、これらの問題は既存の設計技術の応用で簡単に処理可能である。

なお、この手法の改造後再度復帰の場合も配慮し、改造撤収部品(低压加減弁、ダイアフラムなど)及び復水設備を適切に管理、保管することが肝要である。

5 結 言

経済情勢の変化により、遊休タービン、タービンの低効率部分負荷運転、また低压余剰蒸気、蒸気源となる廃熱ポテンシャルなどの改善及び有効利用についてユーザーからの情報が多数に上る昨今である。

この論文では、これらに着目し蒸気、電力併給自家発プラントの省エネルギー方法を蒸気タービンに限定し論じ、原動機としての蒸気タービンがプラントの運用形態変更に対し極めて柔軟性に富んだ対応が可能で、かつ顕著な効果のあることを実例を挙げ述べた。これらの手法を最小のコストで最大の効果を上げるよう計画することが最も重要である。この論文はこのような意味で大方の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 二宮, ほか4名: 高効率・高信頼性蒸気タービン, 石炭火力特集号, 日立評論, 60, 771~804(昭53-11)
- 2) 平岡, ほか5名: 産業用蒸気タービンの高効率部分負荷運転, 火力原子力発電, VOL. 30, No. 2, 160~166(昭54-2)

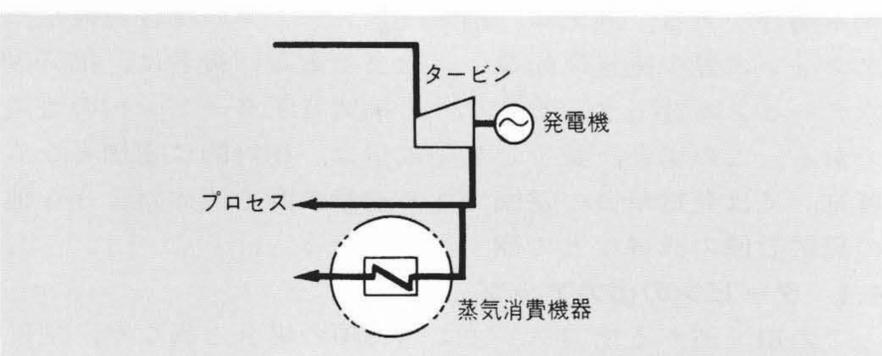


図6 タービン出力アップの手法 プロセス蒸気使用量の減少は、背圧タービンの発電量の減少となる。低压タービンなどと同じく蒸気消費機器を設置し、トップタービンの出力をアップできる。