

ノモグラフを用いたボイラー省エネルギーの検討

川重冷熱工業(株)

八木橋 多聞

Examination of Saving Energy of the Boiler using Nomograph

by Tamon Yagihashi

ボイラーの省エネルギーを検討するにあたっては、どのような改善手法および効果があるか、よく理解したうえで検討を進めることが重要である。また、取扱うボイラーの運転条件がボイラー効率にどのような影響を与えるかを把握しておくことも必要となる。本稿では、ボイラーの省エネルギーを進めるうえで重要な入出熱の理解について、空気温度、給水温度、排ガス温度などの各項目ごとに、ノモグラフを用いた数値的な評価を例示して解説する。

キーワード：ボイラー，省エネ，ノモグラフ，入出熱，ボイラー効率

1. はじめに

ボイラーは多量のエネルギーを消費するため、効率が低下することによる経済損失は大きい。しかし、わずかな省エネルギー改善でも大きな効果を得ることができる機器とも言える。

最近では、自動化が進むことで省力化が進んだボイラーが多くなった反面、運転状態を認識できずに非効率操業のまま改善に取組めない例が見受けられる。ボイラーの省エネルギーはその運転状態をよく知り、費用対効果を考慮しながら取組むことが重要である。そのためには扱っているボイラーの入出熱について理解し、省エネルギーに取組むポイントを掴んでおく必要がある。ここではそれらについて整理する。

また、数値的な検討例として、ここでは「ボイラーの省エネルギーのためのノモグラフ集」(日本ボイラ協会編)を用いて評価する。

2. ボイラーの入出熱バランス

ボイラーの省エネルギーを考える場合、全体の入出熱バランスについて知っておく必要がある。入熱は主に燃料で、熱損失を除いた出熱がすなわち蒸気(有効熱)である。そして、その入熱に対

する有効熱の割合がボイラー効率となる。

$$\text{入熱} - \text{熱損失} = \text{有効熱}$$

$$\text{有効熱} \div \text{入熱} = \text{ボイラー効率}$$

図1および図2に入出熱を模式化した図を示す。この図の通り、入熱には燃料の他に空気や給水が持っているエネルギー(=熱)も加算される。熱損失は、一般に排ガスが持ち出す熱量が最も大きく、その他にボイラー本体からの熱放散、ブローや運転前後のパージによる熱損失等がある。

省エネルギーを実現するには、燃料以外の入熱を増やすか、熱損失を減らすか、いずれにせよ必要な出熱に対する燃料量を減らすことであり、これらひとつひとつの要素を検討していくことになる。使用しているボイラーでこれらの入出熱がどの程度の値や割合であるのか、運転データから明確にしておく必要がある。

3. ボイラーの運転条件と効率

(1) ボイラー運転条件によるボイラー効率の変化
ボイラーには基本設計上の運転条件があり、実際の運転条件との違いがボイラー効率にどのよう

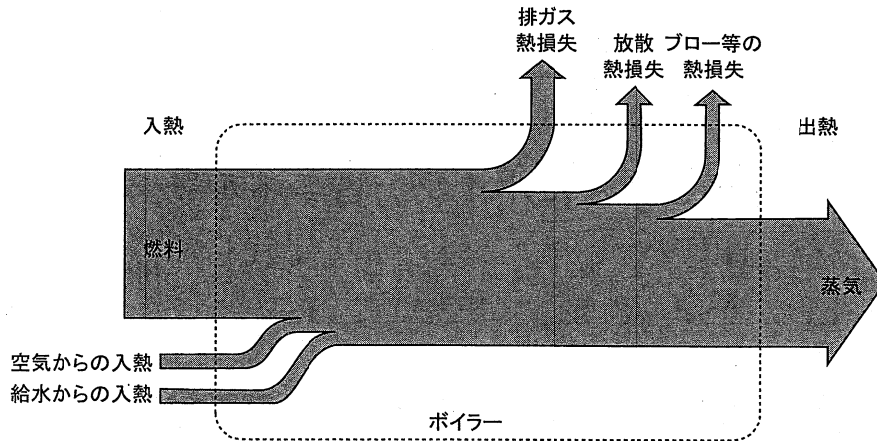


図1 ボイラー廻りの入出熱バランス

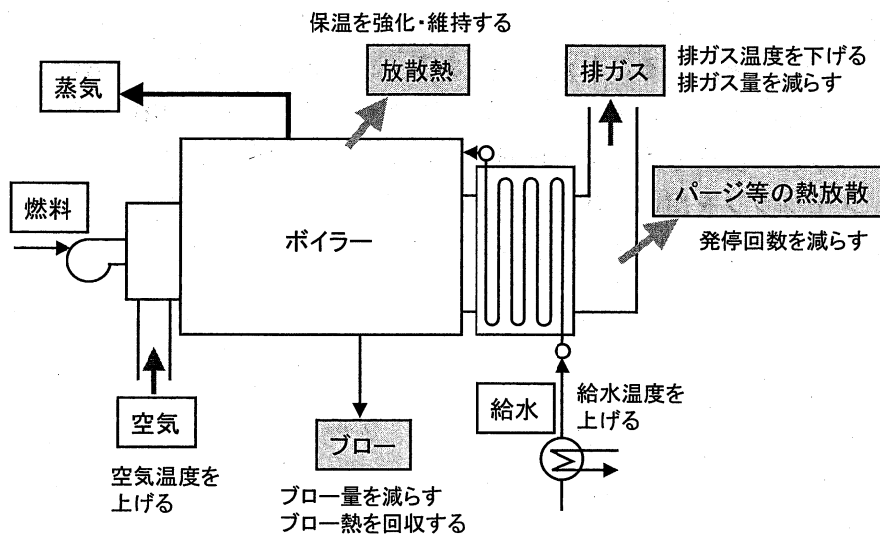


図2 ボイラーの入出熱と省エネ対策

表1 ボイラー効率の運転表示基準

		一般例	公益財団法人日本小型貫流ボイラー協会 ボイラー性能表示基準
給水温度	℃	20	15
蒸気圧力	MPa	0.78	0.49
空気温度	℃	20	35

な影響を与えるかを把握しておくことは重要で、その後の省エネルギー検討の際にも必要である。

表1は、ボイラー効率を表示する際の運転条件例である。ボイラー効率は導入の際にメーカーから提示されるが、運転条件によって変化するため実運用でのボイラー効率と必ずしも合致しない。つまり、カタログ上のボイラー効率だけでは実用時の効率評価はできない。

表2にボイラーの運転条件が効率にどのような影響を与えるか、一般的な傾向を示す。給水温度の高い運転条件の場合、エコマイザ付のボイラーは、エコマイザ内での排ガスとの温度差が小さくなるために熱回収量が少なくなり、結果としてボイラー効率は下がることになる。また、蒸気圧力の高い運転条件の場合、ボイラー内部の蒸気温度が高くなり、熱吸収量が小さくなることで

表2 ボイラー運転条件による効率への影響

運転条件	ボイラー効率の変化割合
給水温度	エコマイザ付の場合変化割合は個々の特性により幅があるが、一般的に給水温度が10℃上昇すると、ボイラー効率は0.3%程度低下する。
蒸気圧力	変化割合は個々の特性により幅があるが、一般的に運転圧力が0.1MPa上がるとボイラー効率は約0.3%低下する。

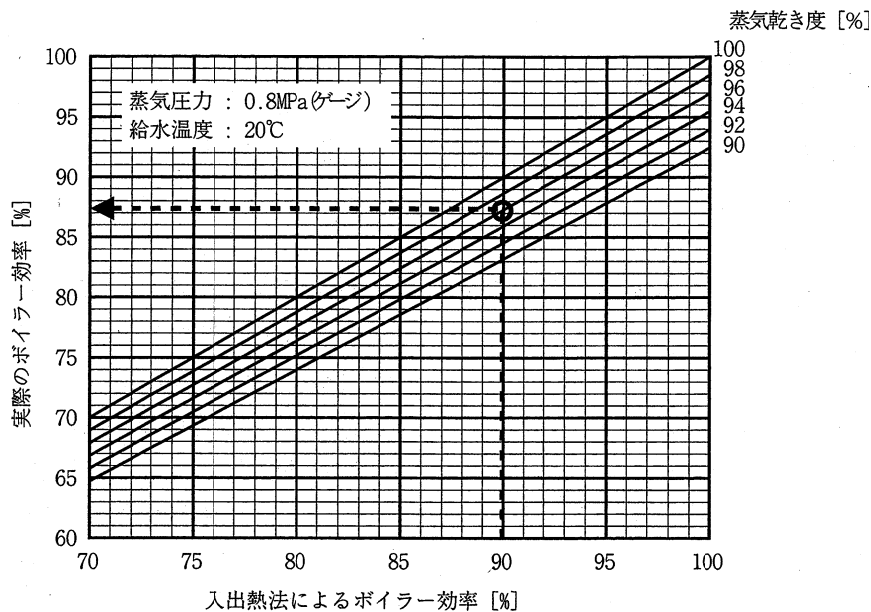


図3 蒸気乾き度とボイラー効率

ボイラー効率が低下する傾向になる。

いずれの場合も、ボイラーでの熱吸収量が小さくなり排ガス温度が高くなるため、熱損失量が多くなってボイラー効率が低下するもので、前述の入出熱バランスによっても説明できる。

(2) ボイラー蒸気乾き度と見かけ上のボイラー効率

ボイラー蒸気の乾き度が変わると見かけ上のボイラー効率は大きく変化する。いくらボイラー効率を高く評価していても、ボイラーから発生する飽和蒸気に水分が含まれている湿り蒸気では蒸気中の水分の蒸発潜熱が含まれないため、実際蒸気の比エンタルピは乾き飽和蒸気よりも低くなる。したがって、入出熱法によるボイラー効率は、給水量からブロー量などを差し引いた分を乾いた蒸気量と扱い、それと燃料量から算出して求められるが、実際のボイラー効率はこれよりも低い。

図3は蒸気乾き度とボイラー効率の関係を示す。ボイラーの運転条件は0.8MPa、飽和蒸気、給水温度20℃の場合である。

ボイラー効率を評価するうえで、見かけ上の効率ではなく真の効率で正しく評価することが重要である。

4. ボイラーの運転条件と燃料消費量

表3にボイラー運転状態の変化による燃料消費量への影響を示す。省エネルギー効果の概略を掴むのであれば、この数値を覚えておくと便利である。

燃料消費量の低減を実現するためには、以下が着目点となる。

(1) 入熱を増やす

- ①空気からの入熱を増やす(空気温度を上げる)
- ②給水からの入熱を増やす(給水温度を上げる)

(2) 熱損失を減らす

- ①排ガス熱損失を減らす
排熱回収により排ガス温度を下げる
空気比を下げて排ガス量を減らす
- ②放散熱損失を減らす

表3 ボイラー運転状態変化による燃料消費量への影響

運転条件	燃料消費量の変化割合
給水温度	給水温度を10℃上げると、燃料消費量は約1.6%減少する。
空気温度	空気温度を10℃上げると、燃料消費量は約0.4%減少する。
排ガス温度	排ガス温度を20℃下げると、排ガス損失は約1.0%減少する。
空気比	空気比を0.1減ざると、燃料消費量は約0.6%減少する。
ブロー率	ブロー率を0.1%減ざると、燃料消費量は約0.2%減少する。

ボイラー保温の維持・強化

③内部熱損失を減らす

ブロー量を減らす（適正化）

ブロー熱を回収する

燃焼時間の割合を上げる（間欠運転や無用な発停を減らす）

5. 省エネルギー率の簡単な求め方

これらボイラーの設備および運転方法の改善による省エネルギーについては計算で求めることができるが、ノモグラフを使用すれば簡単である。その方法について例をあげて解説する。

(1) 空気温度

ボイラーの空気温度を上げるには、下記のとおりいくつかの方法がある。

①空気予熱器によるボイラー自身の排ガスからの空気予熱

②工場内にある加熱炉等からの排ガス排熱による空気予熱

③ボイラー室天井など温度の高い空気の直接利用

①の場合は、同時に排ガス温度も下がるので、後で説明する排ガス温度を下げる省エネルギーと重複して効果を考えるてはならない。

図4は、燃焼用空気温度20℃をベースとしての燃料割合を1とし、空気温度を上昇させた場合の燃料消費量割合を示す。空気温度を何度上昇させると燃料消費量がどの程度削減されるか求めることができる。

ただし、送風機動力の不足や排ガス中のNO_x上昇等の問題も起こり得るので検討を要する。

例) 計画空気温度が20℃の場合、空気温度を30℃に上げると、約0.4%の燃料節減となる。

(2) 給水温度

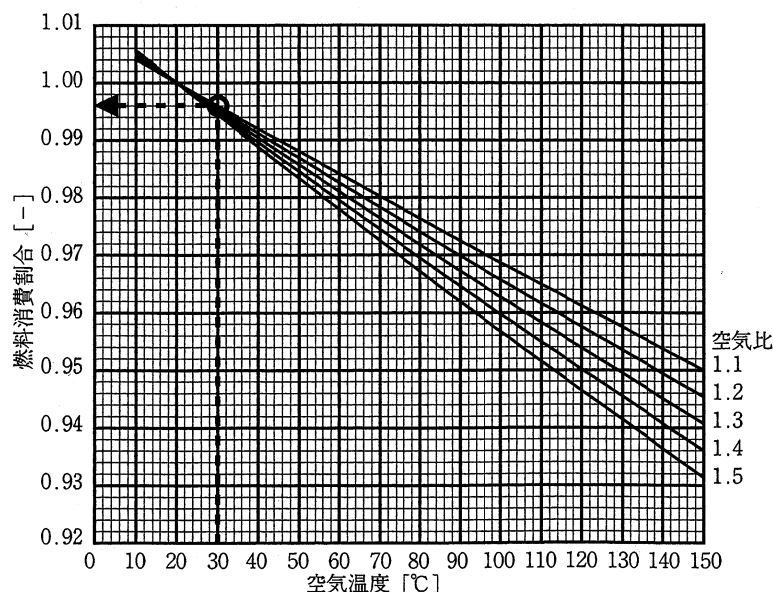


図4 ボイラー入口空気温度と燃料消費割合

ボイラーの給水温度を上げるには、次の方法がある。

- ①エコマイザ設置による排ガスからの給水加熱
- ②連続ブロー排熱回収熱交換器による給水加熱
- ③復水回収による給水加熱
- ④その他、別の施設からの排熱回収による給水加熱

この場合も空気温度の場合と同様に、①については排ガス温度も下がることになるので、排ガス温度低下による省エネを重複して効果に含めることはできない。

図5は0.8MPa、飽和蒸気のボイラーの場合、ボイラー入口給水温度を上昇させることによる燃料消費量の低減率を示す。給水温度を何度上げるとどの程度の燃料削減になるか求めることができる。

ただし、給水温度を上げるとエコマイザ付属の場合は熱吸収率が低下するため、排ガス温度が上昇しボイラー効率は低下するため、その分を差し引いて評価する必要がある。しかし、通常はボイラー効率低下分より大きな燃料消費量低減となる。

また、給水系に熱交換器が加わる場合のポンプ揚程や、給水温度上昇による各機器の耐熱、ポンプ類のキャビテーションについての確認を忘れてはならない。

例) 計画給水温度20℃を30℃にあげると、1.6%の燃料節約になる

(3) 排ガス温度

ボイラー排ガスから熱回収することにより、排ガス温度を下げて省エネを行うには、次の方法がある。

- ①空気予熱器設置による燃焼用空気への熱回収
- ②エコマイザ設置によるボイラー給水への熱回収

いずれも前述の空気温度または給水温度の上昇からも求めることができるが、ここでは排ガス温度により求める。図6は、排ガス温度と空気温度の差に対して排ガス損失の変化 (A重油の場合) を示している。この図の空気比の条件については、次項で解説する。

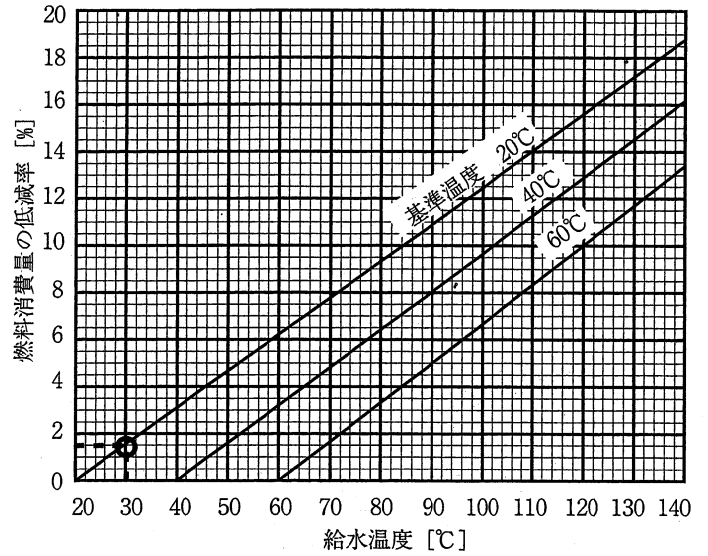


図5 給水温度と燃料消費量の低減率

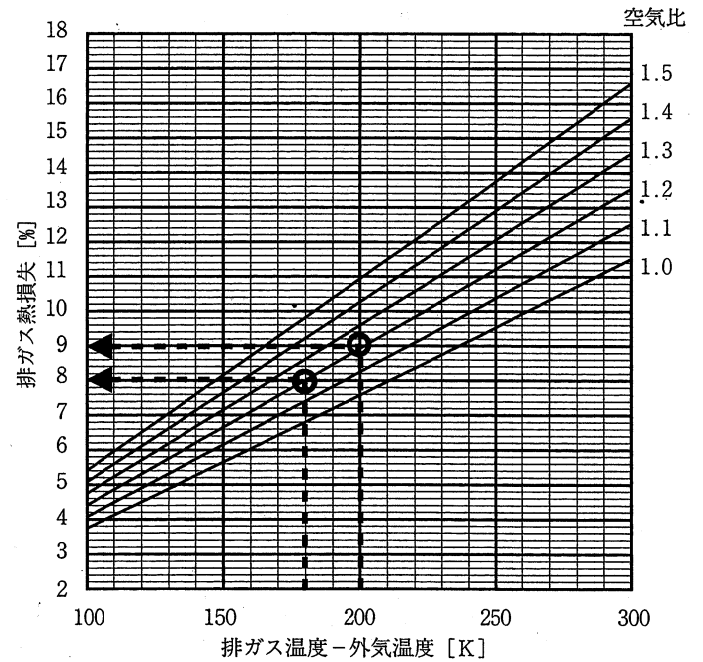


図6 排ガス温度と熱損失

なお、排ガス温度が下がりすぎると、結露と低温腐食の問題も発生するので注意を要する。

例) 空気比1.2で排ガス温度と外気温度 (=空気温度) の差が200℃である場合の排ガス損失は9%程度である。エコマイザの設置等により排ガス温度を180℃まで低下させ20℃分を熱回収すると排ガス熱損失を約1%減らすことができる。

(4) 空気比

排ガスからの熱損失量は、その温度と量で決ま

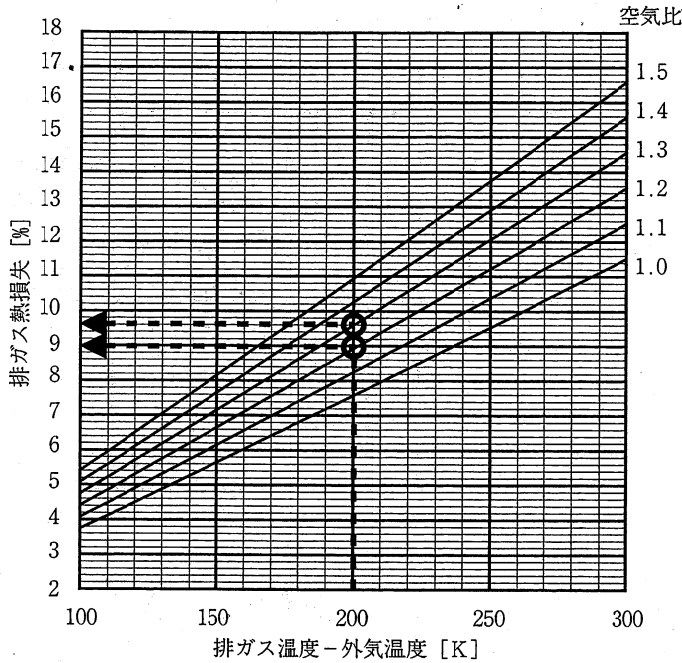


図7 空気比と排ガス熱損失

る。排ガス温度については前項で述べたので、ここでは排ガス量について示す。

排ガス量は、燃料とそれに見合う燃焼用空気量により決定されるが、過剰な燃焼用空気を減らすことが排ガス量を減らすことになる。図7は前項と同じノモグラフであるが、空気比の大小による排ガス熱損失を求めることができる。

例) 空気比1.3で排ガス温度と外気温度 (= 空気

温度) の差が200℃である場合の排ガス損失は9.6%程度であるが、燃焼調整またはバーナの改良により過剰空気を絞り、空気比を1.2まで低下させれば排ガス熱損失は、9.0%まで減らすことができる。

(5) ブロー率

ブローを熱交換せずに排出している場合は、それが全て熱損失になるので適正なブロー率に管理することが重要な省エネルギーのポイントになる。

図8は、5t/h、0.8MPa、飽和蒸気、給水温度20℃の場合のブロー率に対する燃料の増加率を示す。現在のブロー率と変更後のブロー率よりそれぞれの燃料増加率を求め、その差を出すことで改善効果を知ることができる。

ただし、ブローの量で缶水の濃縮度が変わるので、水処理薬品を含めた検討が必要である。

例) ブロー率を給水に対して15%から10%に下げることができた場合、約1.5%の燃料削減となる。

(6) 燃焼時間

ボイラーの運転時間に対する燃焼時間の割合が、ボイラー効率の維持や変動に大きな影響を与えている。起動・停止または点火・消火の回数が多いほど、パージによる熱放散や自然通風による

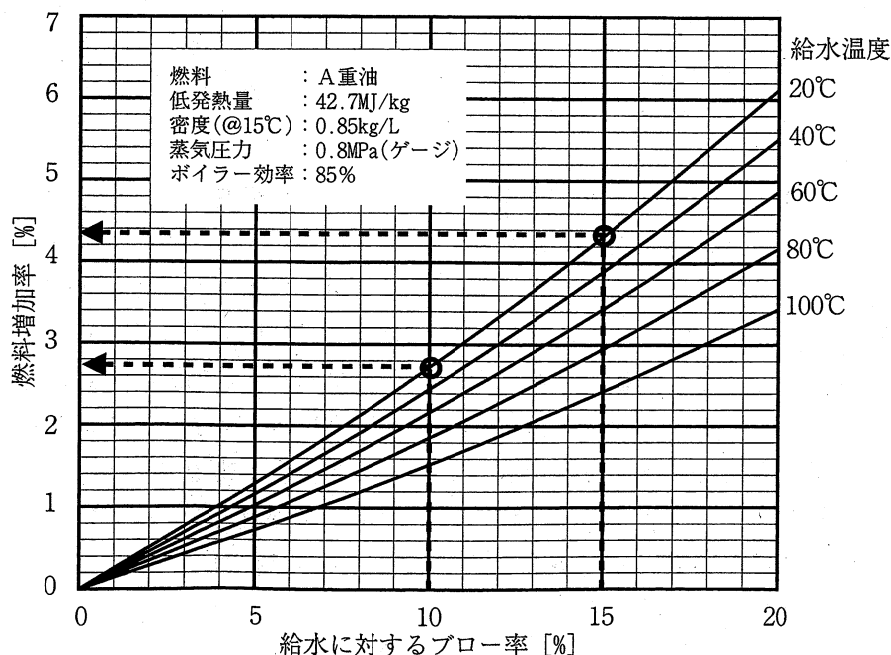


図8 ブロー率と燃料増加率

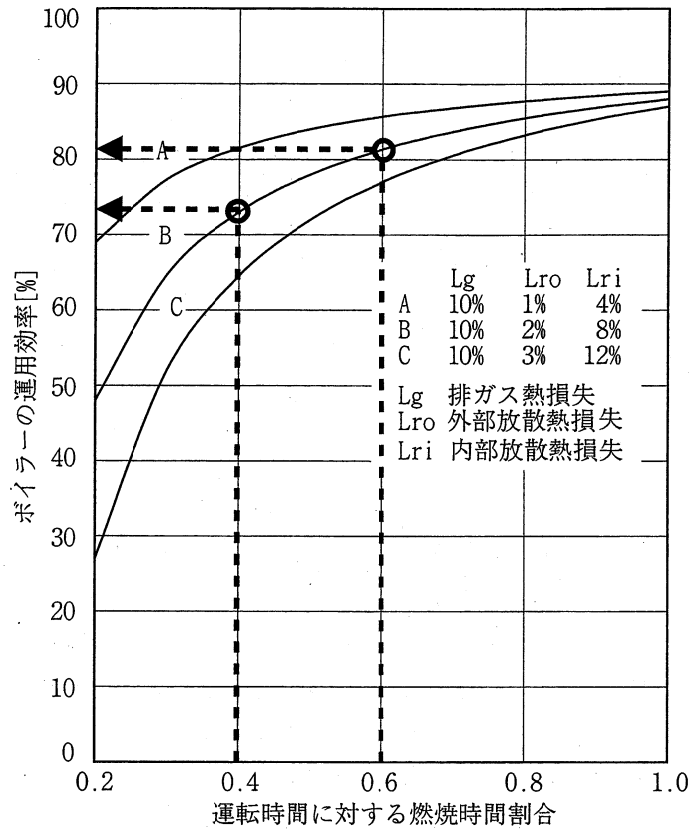


図9 間欠運転におけるボイラーの運用効率

冷却が発生し、ボイラー効率は著しく低下する。

図9は、ボイラーの運転時間に対する燃焼時間割合による運用効率を示したものである。運転改善により燃焼時間の割合を大きくすると、どの程度効率が改善されるかを掴むことができる。

例) ボイラー運転時間に対して燃焼時間の割合が40%と低い場合、ボイラー効率も73%と非常に低くなってしまいが、燃焼時間の割合を60%にアップすることができれば、ボイラー効率も81%に改善される。

6. 最後に

以上のとおり、ボイラーの省エネルギーを検討

するうえでは、どのような改善方法と効果があるか広く理解したうえで検討を進めることが必要である。

しかし各項で触れたとおり、省エネルギー対策に関するいずれの手法にも注意点があり、ボイラーや補機類の仕様（容量、耐熱、燃焼性）、運用（発停、水管理など）と広範囲かつ密接に関連するため、十分な検討が必要である。

<参考文献>

日本ボイラ協会, 「ボイラーの省エネルギーのためのノモグラフ集」, P41, P49, P51, P72, P137, (2008年)