

紙パルプ産業におけるパワーボイラー・タービンの変遷

日本製紙株式会社 設備技術部

藤井 伸二

頁

1. はじめに	-----
2. 紙パルプ産業における発電設備の進展	-----
2.1 紙生産量とエネルギー費の推移について	
2.2 パワーボイラーの形式と設置状況について	
2.3 蒸気タービンの形式と設置状況について	
3. パワーボイラーの型式と特徴	-----
3.1 ストーカ式ボイラー	
3.2 重油だきボイラー	
3.2 微粉炭ボイラー	
3.4 新エネルギーボイラー	
4. 蒸気タービンの型式と特徴	-----
5. 今後の展望について	-----

この資料は、平成 22 年 10 月 5 日に開催された紙パルプ技術協会年次大会前日講演会「製紙産業技術 30 年の変遷」での講演記録を基にまとめたものである。資料中すべての図の著作権は作成者に属し、無断使用・複製等をご遠慮ください。

講師略歴

1986 年 十條製紙(株) (現日本製紙(株)) 入社 石巻工場動力部
1989 年 同 伏木工場動力課
1995 年 日本製紙(株) 岩国工場 原動部
1999 年 同 八代工場 原動課
2001 年 同 本社 設備技術部
2004 年 同 旭川工場 原動課
2009 年 同 本社 設備技術部

日本製紙設備技術部の藤井です。紙パルプ産業におけるパワーボイラー・タービンの変遷について報告します。紙パルプ産業全体でのデータが余り残っていませんので、日本製紙の設備を中心にりますが、ご了承のほどお願いします。初めに、日本における1次エネルギーの使用量と構成の推移、次いで日本における発電設備の推移を説明します。その後、紙パルプ産業における発電設備の進展、パワーボイラーの型式と特徴、蒸気タービンの型式と特徴、最後に今後の展望について報告します。

「紙パルプ産業におけるパワーボイラー・タービンの変遷」

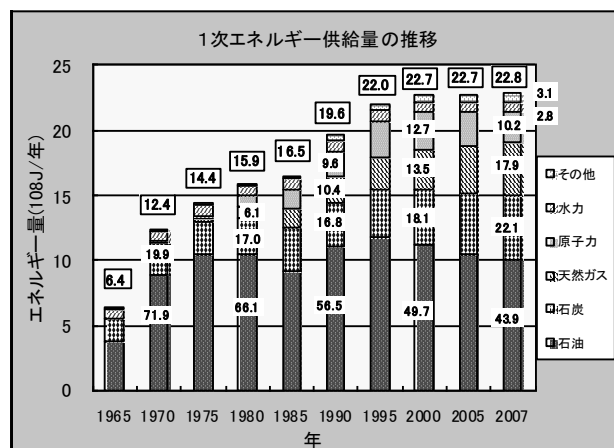
日本製紙株式会社 技術本部 設備技術部
藤井 伸二

発表内容

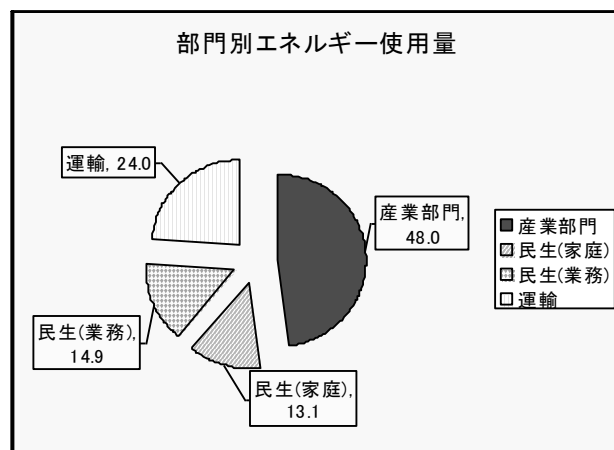
1. はじめに
 - ◆日本における1次エネルギーの使用量と構成の推移
 - ◆日本における発電設備の推移について
2. 紙パルプ産業における発電設備の進展
 - ◆紙生産量とエネルギー費の推移について
 - ◆パワーボイラーの形式と設置状況について
 - ◆蒸気タービンの形式と設置状況について
3. パワーボイラーの型式と特徴
4. 蒸気タービンの型式と特徴
5. 今後の展望について

1. はじめに

まず、日本全体のエネルギー事情と発電設備の進展を紹介します。右下図は、日本の1次エネルギーの供給量と構成比の推移を示しています。1次エネルギーとは、エネルギーの生産から消費までの一連の流れにおいて入り口となるもので、エネルギー転換した電力、石油を改質したガソリンや灯油は2次エネルギーに分類されます。日本の1次エネルギーの消費量は、戦後の急激な経済の成長に伴い増加しましたが、2000年以降はほぼ平行で進んでいます。供給量は、1965年、 6.4×10^8 ジュールだったものが、2000年には 22.7×10^8 ジュールと、ほぼ3.5倍に増加しています。1次エネルギーの構成は、1950年代には国内で生産する石炭、あるいは水力発電で補われていました。その後、1950年の後半になり石油、特に中東からの石油の輸入が盛んになり、石油の量、比率とも急激に増加してきます。石油の使用量は、1970年の後半には80%弱を占めるまでに至っています。しかし、1973年と1979年の2度のオイルショックにより石油の価格が急上昇し、産業界は大きな打撃を受けます。政府はこれをきっかけにエネルギーの供給の安定化を目指して脱石油、特に中東からの石油の比率を下げる政策を打ち出します。その結果、石油の比率はどんどん下がり、2007年には43.9%と、50%を切る状況にまでなっています。その他、石炭が22%、天然ガスが18%弱、原子力が10%、水力が2.8%、その他が3.1%、です。



右図は部門別エネルギー使用量を示しています。1975年ごろには産業界の占める比率が60%ぐらいでしたが、近年では省エネルギー等の努力により、産業界の占める比率は48%と、50%弱までになっています。その他



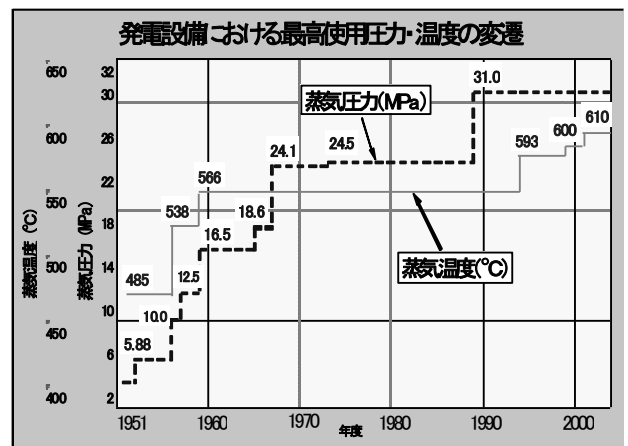
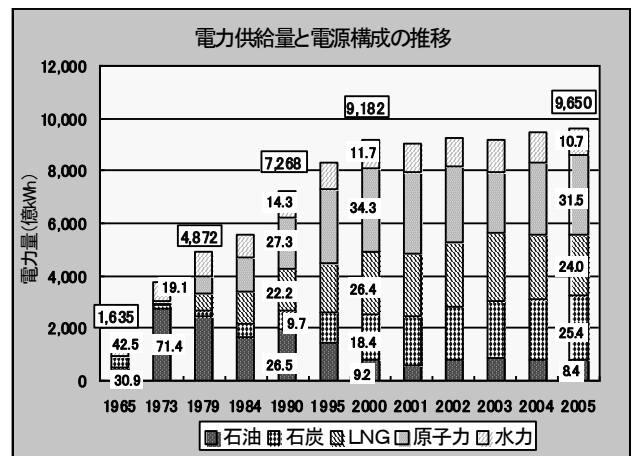
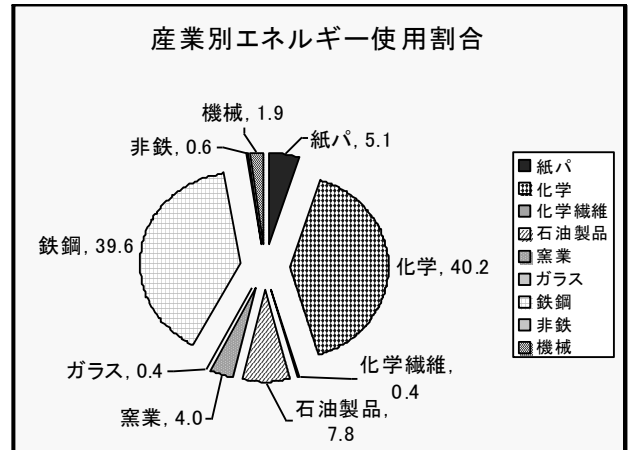
として、運輸 24%、民生の業務部分が 14.9%、民生の家庭部門では 13.1%です。

右図は、産業界における使用比率を示しています。化学が 40.2%と一番多くなっていますが、セメントなど細かい職種が多く入ってしまっていて、実際には鉄鋼が一番多く、鉄鋼は 39.6%、その次に、石油製品・ガスが 7.8%、紙パルプ産業は 5.1%で、産業部門でいくと 4 番めにエネルギーの使用量が多くなっています。結局、日本全体の 2.5%を紙パルプ産業が使っていることになります。

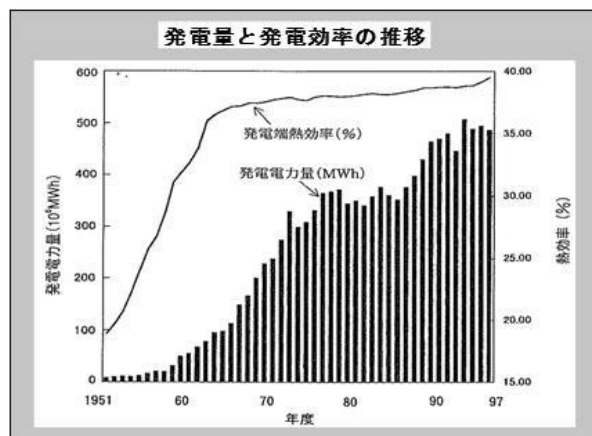
次に、電力の供給量と、電力における燃料の構成の推移を説明いたします。石油や石炭等の 1 次エネルギーの約半分が 2 次エネルギーである電力に変換されています。その需要は増加の一途をたどっています。1965 年、1.635 億 kWh (キロワットアワー) から、2005 年には 9.650 億 kWh と、約 6 倍までふえています。先ほどの 1 次エネルギーが 3.5 倍の増加に対して電力は 6 倍で、いかに電力の消費量が多くなっているか理解されます。電化住宅や電気自動車の導入がどんどん進められていますので、ますます使用量がふえていくでしょう。

電力の構成は、1950 年代のころには国内炭や水力が中心でした。60 年代になってくると石油の比率がどんどんふえ、73 年には大体 71.4%が石油です。その後、先ほど言いました 2 度のオイルショックがあり、石油の比率を下げる政策を国が示しましたので、石油の比率がだんだん下がってきて、2005 年には、10%を切るまでになっています。その他として、石炭、これは海外炭ですが、25.4%が、LNG もだんだんふえ、現在は 24%ぐらい。それから、原子力が 31.5%、その他 (水力) が 10.7%です。

次いで、発電設備における効率の改善を説明します。日本は、エネルギーが少ないことから、発電設備の効率改善は非常に重要です。1950 年代のコンベンショナル発電設備の蒸気条件は大体 6 メガパスカル、60 キロ程度、温度としては 485 度という条件でした。その後、効率改善の取り組みが行われ、1960 年には 566 度と、ほぼ現在と同じような温度になっています。圧力もどんどん上がってきまして、1990 年以降は 31 と、臨界圧まで上がってきています。温度も、60 年以降 566 度という条件でほぼ一定で来ていたのですが、最近また



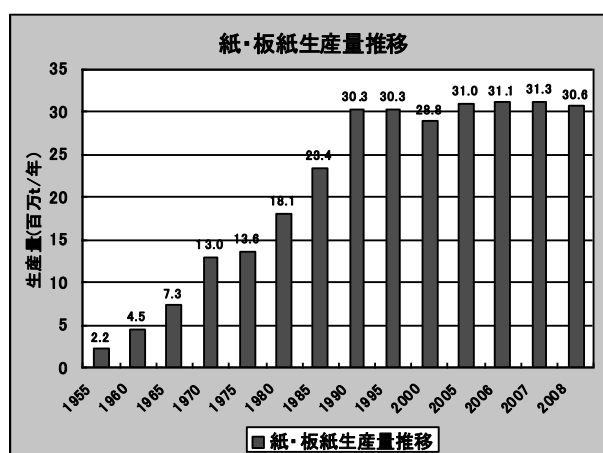
効率改善ということで温度アップが行われ、現在では610度です。実際の発電量と発電効率の推移を図に示します。1950年代は20%ぐらいの効率だったのですが、その後、急激な温度・圧力の改善が行われ、60年代には35%を超える効率まで来ています。その後、なだらかですけれども、効率改善が行われ、現在ではコンベンショナルのボイラー・タービンの効率は40%から43%ぐらいまで上がってきています。



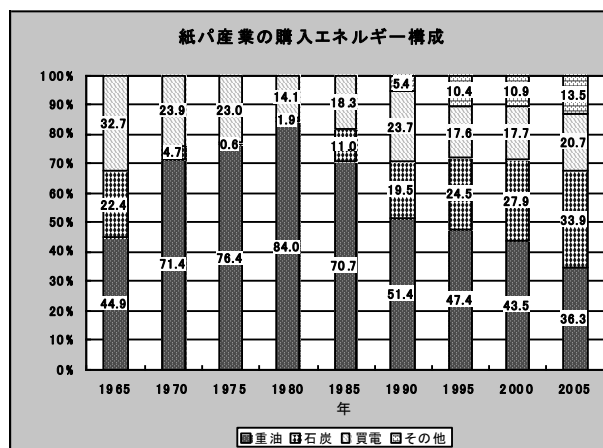
2. 紙パルプ産業における発電設備の進展

2.1 紙生産量とエネルギー費の推移について

紙パルプ産業における紙の生産量とエネルギーの状況について説明します。右図は、紙・板紙の生産量を示しています。1955年、紙・板紙の生産量は220万トンと非常に少なかったのですが、その後の経済の急激な発展により、急激に生産量も増加していっています。2000年には大体3,000万トンで、1955年からしますと約15倍です。2000年以降は、紙の生産量はほぼ横ばいという状況になっていまして、2008年、リーマン・ショック以降は若干紙の生産量は減少傾向を示しています。製紙連合会の予想では、今後まだ紙の生産量は増加するという予想を立てていますが、実際には若干また下がる傾向になるのではと思っています。

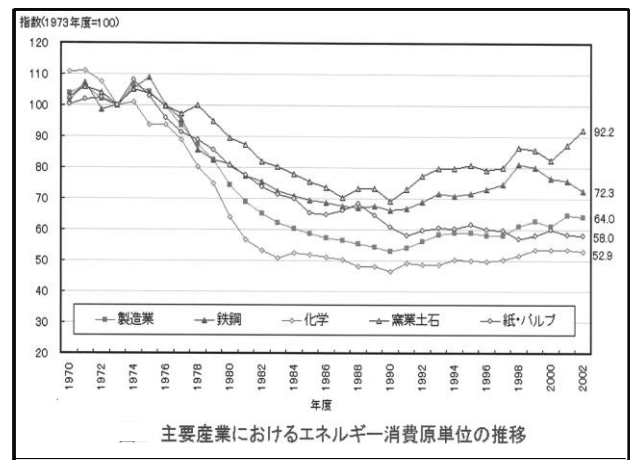
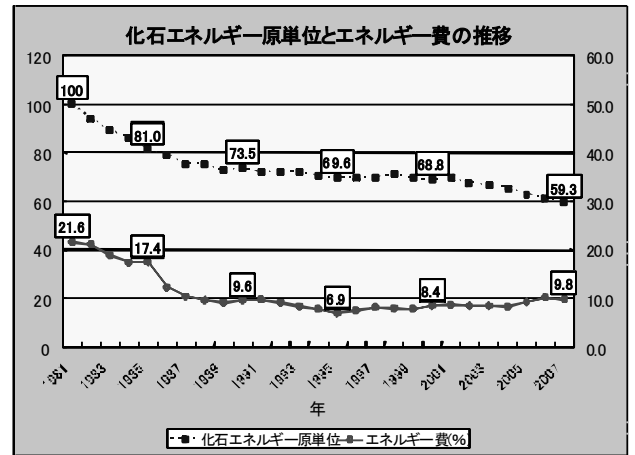


次に、紙パルプ産業の購入エネルギーの構成について説明します。紙パルプ産業も、日本全体のエネルギー使用量と同じように、石油の比率がかなり高い時期がありました。1965年、既に45%が重油だったのですが、その後どんどんふえていき、1980年には84%になりました。その後、省エネルギーや燃料転換が進められ、購入エネルギーに占める重油の比率は下がり、2005年には36.3%です。その反対に、石炭は1965年に22.4%で、ほとんど国内炭を使っていたのですが、その後、国内炭はなくなり、海外炭の輸入がどんどん始まって、現在では34%弱が石炭で、ほとんど海外炭です。購入電力は、買電単価が高い時期があったため比率的には、どんどん下がり、1980年に14.1%という比率でしたが、最近、購入電力が安いということで、その比率がだんだんふえてきてまして、現状では20.7%が購入電力です。その他では、最近、CO2対策から、バイオマスなどの廃棄物あるいは天然ガスを使う会社がふえてきてまして、現在では13.5%がその他のエネルギー



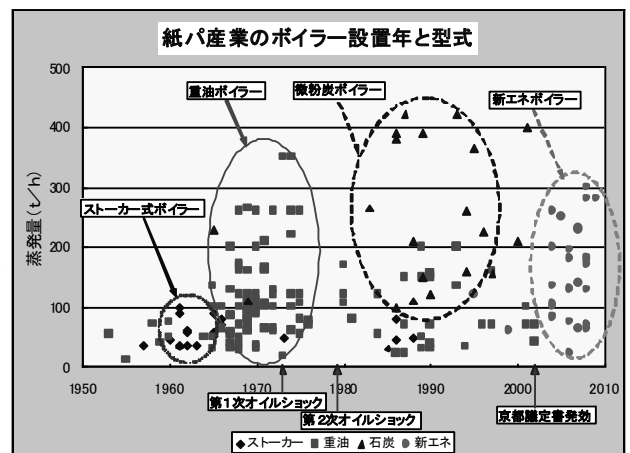
ギーで賄われています。

右図は、化石エネルギーの原単位の推移、ならびに生産コストに占めるエネルギー比の推移を示したものです。化石エネルギー原単位は、1981年を100としますと、現状では59.3%で、約6割近くまで下がっています。これは、先ほどから何度も言っていますが、2度のオイルショック以降、エネルギーコストを削減することに紙パルプ産業全体が取り組んだ結果です。生産コストに占めるエネルギー比率は、1970年前後には大体15%でしたが、原油価格が急激に上がったことで、1981年には21.6%と、5分の1強をエネルギー比が占める時期もありました。その後、省エネや燃料転換で燃料コストを下げる努力が行われ、1995年には6.9%になり、一時期の3分の1までエネルギーの比率が下がっています。その後、CO2対策や中国の需要もあってエネルギーの単価が上がってきて、現在では10%弱(9.8%)が生産コストに占めるエネルギーの割合です。右図は、産業別のエネルギー消費原単位の推移を示しています。○印のグラフが紙パルプ産業になります。ほかの製造業、例えば鉄鋼、窯業のような業界に比べると、紙パルプ産業はどれだけ省エネルギーに取り組んでいるかが理解できます。



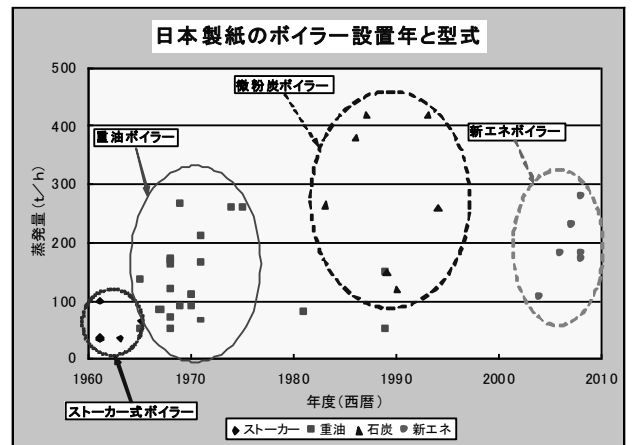
2.2 パワーボイラーの形式と設置状況について

次に、紙パルプ産業におけるパワーボイラーの設置状況について説明します。右図は、パワーボイラーの形式および蒸発量を設置年ごとに区分してプロットしたものです。既に廃滅した設備は含まれていませんので、若干傾向としてはわかりづらくなっています。1950年代から60年代前半では、先ほど言いました国内炭を使ったストーカ式のボイラーが多く設置されました。その後、石油が多く輸入されるようになりますと、重油ボイラーが多く設置されてきます。その後、1973年に1次のオイルショック、1979年に2次のオイルショックがあり、微粉炭ボイラーへ燃料転換していく会社がふえてきます。小さな重油ボイラーを統合して大きな石炭ボイラーに置きかえて効率の改善も図ってきています。1997年にCOP3の温暖化対策の京都会議があり、2003年に正式に京都議定書が発効されています。これをきっかけにバイオマスやタイヤあるいはRPFといった燃料を使うボイラーを設置する会社がどんど



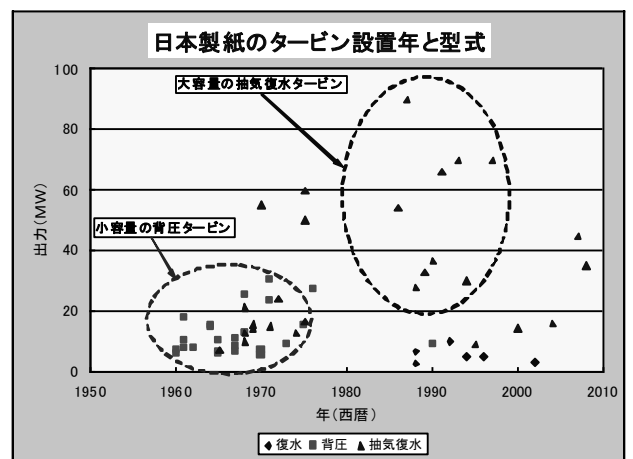
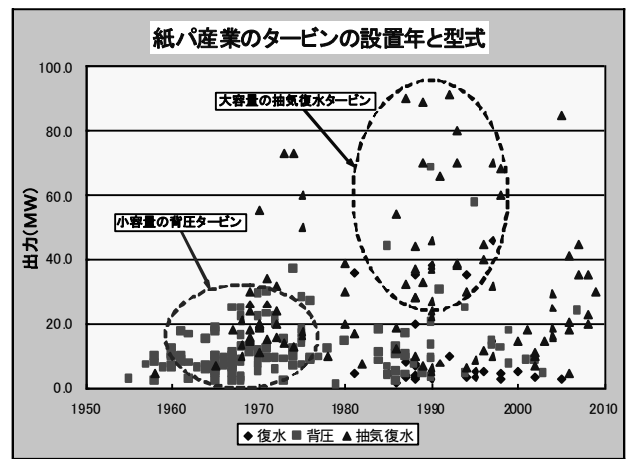
んふえてきまして、いわゆる新エネボイラーと呼ばれるボイラーがどんどん設置されてきています。

右図は、日本製紙単独のボイラーの形式と設置年を示したもので、紙パ全般よりも比較的わかりやすくなっていると思います。1960年の前半にストーカ式ボイラー、1970年代を中心に重油ボイラーがたくさん設置されています。その後、燃料転換で微粉炭ボイラーがつかられて、さらに現在は新エネボイラーという傾向を示しています。



2.3 蒸気タービンの形式と設置状況について

次に、紙パルプ産業のタービンの設置状況について説明します。ご存じのように、紙パルプ産業では抄紙の乾燥用、あるいはパルプの製造工程で多量の蒸気を消費します。そのためにボイラーが設置されていますが、当初エネルギーの供給が不安定なときには、プロセスで必要な蒸気のみを供給するためにボイラーが設置されていました。そのために、タービンも比較的小さな背圧タービンが設置されていました。必要エネルギーが少ないということで、蒸気だけをつくるためのボイラーとタービンという形です。足りない電力は電力会社を買っていました。その後、重油の価格が非常に上がってきたことから、購入電力の単価もどんどん上がってきたため、大容量の抽気復水タービンが1990年ごろを中心に設置されています。微粉炭ボイラーとセットで設置されています。日本製紙の場合を示しますと、1960年代から70年代前半ぐらいに背圧タービンが多数設置されています。その後、燃料転換に伴って、大容量の抽気復水タービンが設置されて現在に至っています。

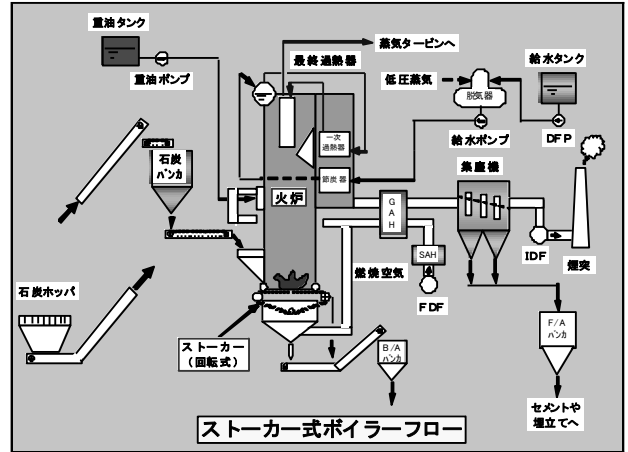


3. パワーボイラーの型式と特徴

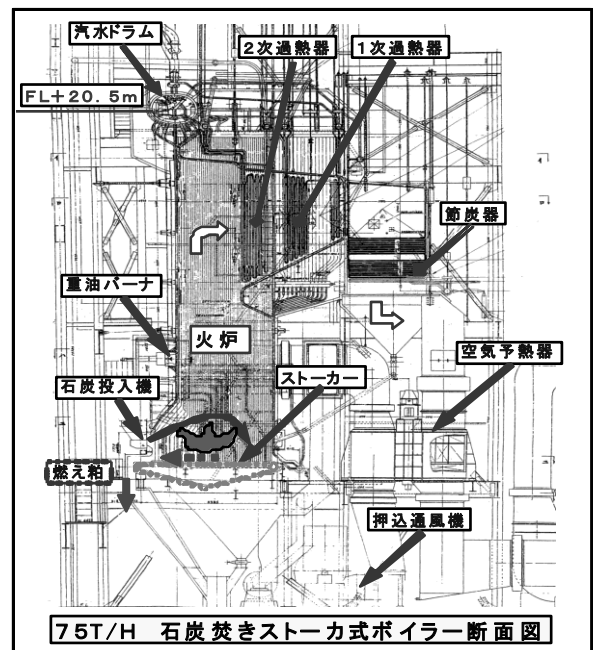
次に、ボイラーの型式と特徴について説明します。紙パルプ産業に設置されているパワーボイラーの型式は、ストーカ式のボイラー、重油ボイラー、微粉炭ボイラー、新エネルギーボイラーと、大まかにこの4種類に分類されます。それぞれのボイラーのフロー、構造の概要、長所について説明します。詳細の構造はメーカーごとに異なりますが、日本製紙に設置されているボイラーを例にします。

3.1 ストーカ式ボイラー

右図は、ストーカ式ボイラーの全体のフローです。低品位の国内炭、あるいはバークといった燃料を燃やのに適したボイラーです。1950年頃には、この手のボイラーが比較的たくさん設置されています。ストーカ式には、回転式のストーカと火格子と呼ばれるものを階段状に組んで上下に動かすものと、2種類のタイプがありますが、どちらも燃焼時間を比較的長くとれるため、燃焼が非常に安定しているボイラーでした。燃料の石炭は、石炭ホッパーからコンベヤーを使って石炭バンカーに受け入れられます。次いで、石炭を計量器で計量して、炉の前のほうから炉に投入します。投入された石炭はストーカの上で燃えて、燃えたカスは下のホッパーからコンベヤーを使ってバンカーへ送ります。燃えたガスは上の最終過熱器、それから節炭器、空気予熱器で熱交換され、集じん機で灰を除去しまして煙突から出ます。集じん機で回収した灰は輸送管でバンカーへ送って、このバンカーからセメント工場や埋め立に利用しています。起動時、石炭には直接火はつきませんので、重油タンクを設置して、重油で点火して、炉内が温まってから石炭を投入します。ボイラーに送る給水は、通常のボイラーと同じように、純水装置でイオン交換して純水にしたものを給水タンクに受け入れて、脱気器に送って溶存酸素を除去してボイラーに送ります。ボイラーで発生した蒸気は蒸気タービンに送られます。



右図は、75トン/hrの石炭焼きストーカ式ボイラーの断面図です。給炭計量器で量った石炭は石炭投入機から投入されます。このボイラーの場合は回転式の投入機がついています。石炭を奥のほうに飛ばして、ストーカが手前に回っている間に、燃えながら手前のほうに来て、燃え殻は下に落ちるといったフローになります。燃えたガスは上のほうの2次過熱器、1次過熱器で熱交換して、さらに節炭器で熱交換して空気予熱器を通して集じん機に送る流れです。このボイラーの場合、高さが20.5mで、比較的ボイラーとしては低い、シンプルな構造です。



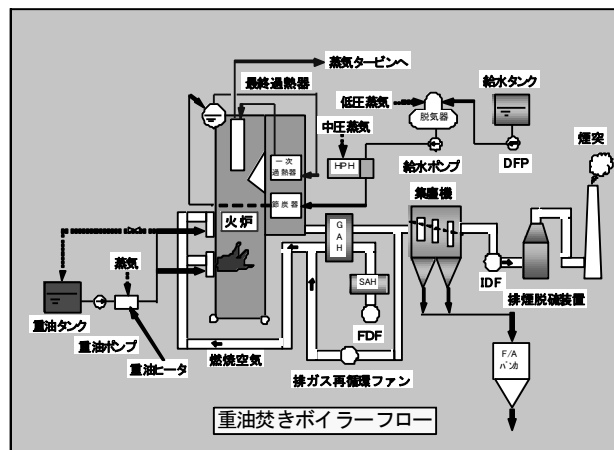
ストーカ式ボイラーの特徴は、発熱量の低い燃料でも燃焼できる。燃焼時間が長くとれますので、発熱量

が低くてもよく燃える。設備的には、高さも比較的安く設計できますので、イニシャルコストが比較的安い。磨耗する部分が少なく、メンテナンス費用も比較的安いという特徴があります。短所は、大容量のボイラーには適さない。ストーカの構造から炉を大きくできません。また、燃焼時間が長いために、負荷圧比重性が悪く、追随性も悪くなります。それから、燃焼温度のコントロールが難しいので、窒素酸化物の濃度が高くなります。

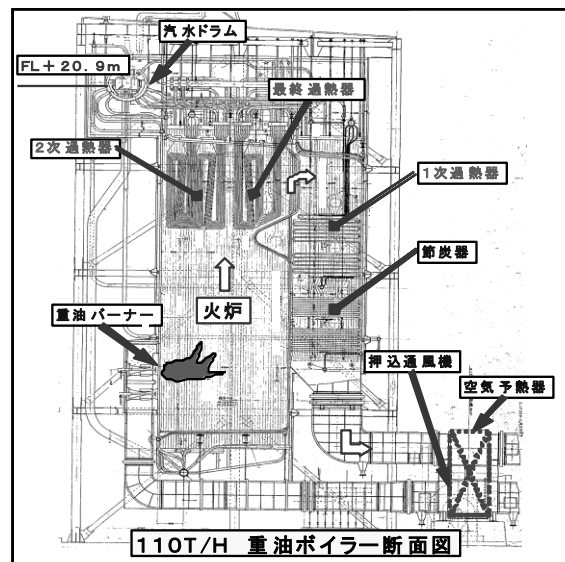
	長 所	短 所
ストーカ式ボイラー	<ul style="list-style-type: none"> ・発熱量の低い燃料でも燃焼可 ・イニシャルコストが比較的安価 ・メンテナンス費用も比較的安価 	<ul style="list-style-type: none"> ・大容量のボイラーには適さない ・燃焼時間が長いために負荷追随性が悪い ・燃焼温度のコントロールが難しいため窒素酸化物の濃度が高くなる

3.2 重油だきボイラー

次に、重油だきボイラーのフローについて説明します。先ほど言いましたように、石油が積極的に輸入されるようになった 1960 年の前半の時代にたくさん設置されています。重油ボイラーは、非常に運転しやすいということもあって、紙パルプ産業以外にもたくさん設置されています。燃料である重油をローリー等で運んできて重油タンクに受け入れます。重油タンクからポンプを使って燃焼室に送って、バーナーで燃やします。重油、特に C 重油は粘性が非常に高く、引火点も高いので、蒸気や電気式のヒーターで加熱して粘度を下げた後燃焼します。燃焼した後のガスは、先ほどのストーカと同じように、最終過熱器、あるいは 1 次過熱器、節炭器、空気予熱器、これを通して集じん機で集じんして排煙脱硫装置を通して煙突から出します。重油は、S 分が 3% 近くあり、硫黄酸化物が非常に高くなり、排煙脱硫装置が必ず必要です。集じん機がついていますが、集じん機がなく排煙脱硫装置だけで除塵している工場もあります。集じん機で取った灰は、バンカーにためて埋め立て等で処分しています。給水は、先ほどのストーカ式ボイラーと同じように、給水装置で処理して給水タンクに受け入れ、脱気器で溶存酸素を除去してボイラーに送る。ボイラーで発生した蒸気は蒸気タービンに送る。重油ボイラーの場合、先ほど言いましたように、SO₂ が多いので、排ガスの酸度点がかなり高く、高圧給水ヒーター、HPH と書いてありますが、このように温めてボイラーに給水して酸露点腐食を予防する設備をつけている場合が多くなっています。

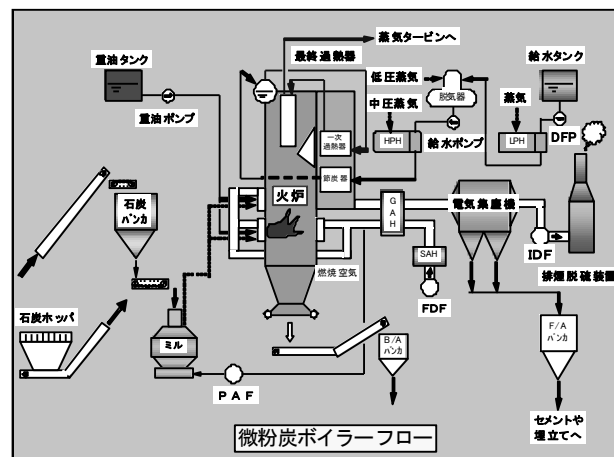


右図は、110 トン/hr の重油ボイラーの断面図です。燃料である重油は炉の前の重油バーナーで燃焼させ、燃えたガスは、上にあります 2 次過熱器、あるいは最終過熱器、炉の後ろのほうについています 1 次過熱器、それから節炭器、空気予熱器を通して集じん機または煙突の排煙脱硫装置に出します。重油ボイラーの場合も、ドラムまでの高さが 20.9m で、ストーカ式と同じように、比較的小さく設計できます。重油の場合は非常に燃焼がよくて、小容量から大容量のものに適用できます。また、負荷圧比重性もよい。重油は発熱量が高いので、容量の割には伝熱面積が小さくでき、インシヤルコストが非常に安い。それと、減肉する部分が少ないので、修繕費が非常に安いという長所があります。短所としましては、燃焼温度が比較的高くなるので、窒素酸化物の濃度が比較的高くなる。燃料費が高い、これが一番の短所になります。



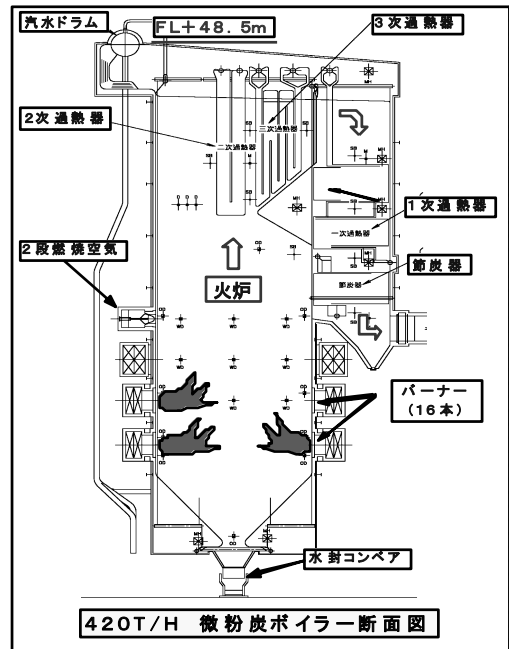
3.3 微粉炭ボイラー

続きまして、微粉炭ボイラーについて説明します。固体燃料である石炭を細かく粉砕することによって、液体とほぼ同じように燃焼をさせて制御性をよくすることを目的で開発されたボイラーです。1980 年代には、先ほど説明したように、このタイプのボイラーが非常にたくさん設置されています。微粉炭ボイラーのフローは、石炭を貯炭場やヤードからトラックなどで運んできて、ホッパーから石炭バンカーへと受け入れます。その後、給炭計量器で計量して、ミルと呼ばれる微粉炭機で細かく粉砕されてバーナーで燃やすというフローになります。燃えた後の灰、クリンカアッシュは、炉の下の方に落ちてきて、コンベヤーでかき集められてバンカーへためる。バンカーにためたボトムアッシュはセメントや路盤材に有効利用されています。燃えた後のガスは、ほかのボイラーと同じように、1 次過熱器、節炭器、空気予熱器を通して、通常は電気集じん機で集じんし、排煙脱硫装置を通して煙突から出ます。石炭も硫黄分が大体 1% ぐらいありますので、排煙脱硝装置をつけて硫酸酸化物を除去するのが一般的なフローです。電気集じん機で集めた灰は、先ほどのストーカ式と同じように、輸送管でフライアッシュ・バンカーまで送って、こちらからセメント工場や埋め立てに有効利用しています。

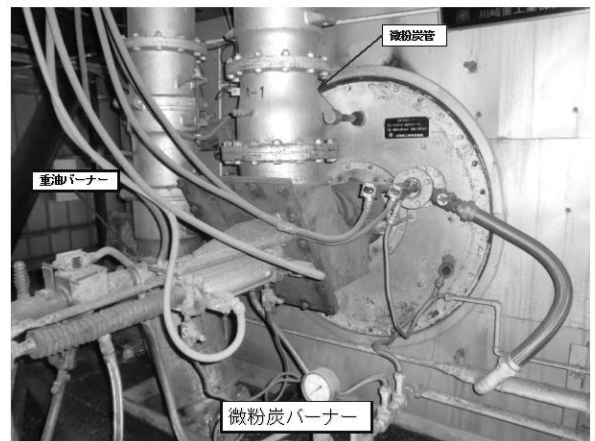


水のフローは、純水装置でイオン交換して給水タンクに受け入れ、低圧式の給水ヒーターあるいは脱気器を通し、さらに高圧の給水ヒーターを通してボイラーに送ります。ボイラーで蒸気を発生させて蒸気タービンへ送ります。微粉炭ボイラーの場合は大容量の設備になりますので、通常は熱効率を上げるために低圧式の給水加熱器と高圧式の給水加熱器が設置されるのが一般的になります。場合によっては低圧式を2段あるいは3段、高圧式も2段、3段と設置されるケースもあります。

右図は、420トン/hrの微粉炭ボイラーの断面図です。前に2段、各段で4本の合計8本、後ろが同じく2段で8本、合計16本のバーナーがついています。1段が予備で、通常は12本で燃焼負荷になっています。燃えたガスは上のほうに上がって2次過熱器あるいは3次過熱器を通して、さらに、後部側にあります1次過熱器、節炭器を通して集じん機のほうに流れます。このボイラーは、ドラムまでの高さが48.5mで、今まで説明してきましたストーカ式、重油に比べますと非常に背が高い。



右図が微粉炭ボイラーで特徴的な微粉炭機です。上から落ちてきた石炭は、ローラーとテーブルの間で粉砕されます。微粉になった石炭は下からの風で舞い上がって、微粉炭管を通してバーナーに送られて燃焼するという設備です。起動時は石炭に直接点火できませんので、重油バーナーで点火して、その後に石炭を送って燃やします。石炭に火がつきますと連続的に燃えますので、重油を消火し、石炭だけで燃やすという構造になっています。



微粉炭ボイラーは比較的中容量から大容量のものに適用できます。微粉炭の場合は火炎がどうしても長くなりますので、直接火炎が壁に当たりますと、異常過熱ということで粉破することがあります。石炭を細かい粉状にしますので、比較的燃焼性がよくて、負荷追従性もよいです。重油に比べれば非常に安いという長所があります。短所は、燃焼温度が高くなるために、窒素酸化物濃度が比較的高くなることです。先ほど言いました微粉炭機や灰処理設備あるいは電気集じん機といった付帯機器がたくさんつきまますので、イニシャルコストが非常に高くなります。それと、石炭をたきますので、磨耗する部分が非常に多く、メンテナンス

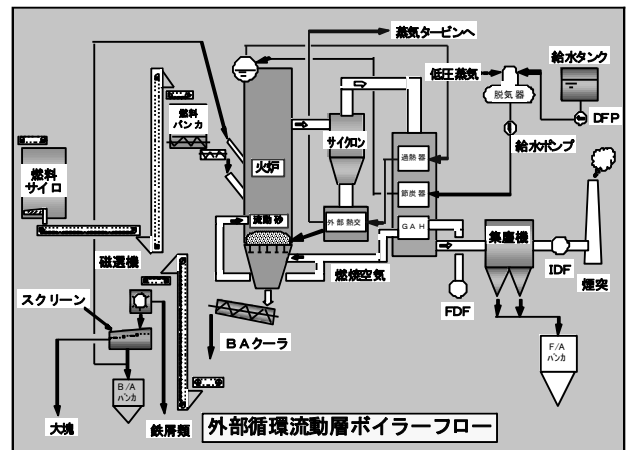
	長所	短所
微粉炭ボイラー	<ul style="list-style-type: none"> 中～大容量のものに適用可 燃焼性、負荷追従性が比較的、良好 燃料費が安い 	<ul style="list-style-type: none"> 燃焼温度が高いために窒素酸化物濃度が比較的、高くなる 付属機器が多いためにイニシャルコストが高い 磨耗減肉する箇所が多いのでメンテナンス費用が高い

費用が非常に高くなります。

3.4 新エネルギーボイラー

新エネボイラーでは、ほとんどが外部循環式、流動層ボイラーを使っています。比較的低位の石炭、あるいはバイオマス、廃棄物燃料を燃焼させるために開発されたボイラーです。炉の中に入っています高温の流動媒体（砂）を循環させることによって、比較的発熱量の低い燃料を安定して燃焼できる構造になっています。近年、このタイプのボイラーが紙パ産業でも多数設置されています。

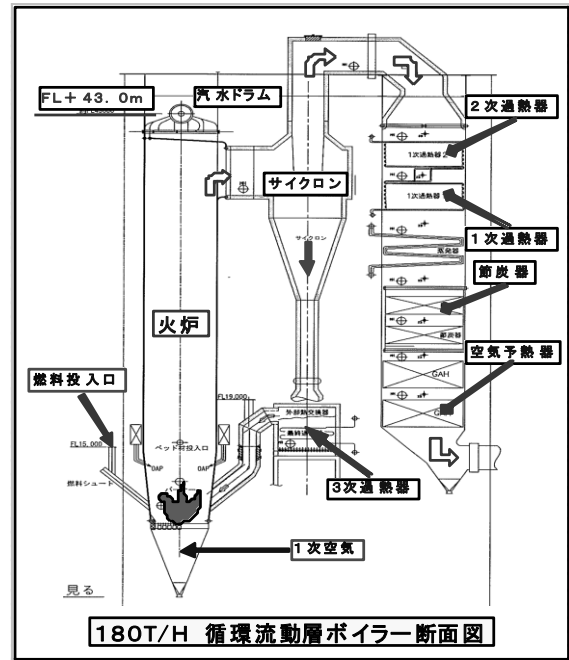
実際のフローは、燃料である木くずあるいは石炭を、コンベヤーを使って石炭バンカーに同じように受け入れられます。そこから必要な量を切り出して、炉にスクリーコンベヤー等で投入します。炉の中には流動砂（流動媒体と言っています）が入っています、この中で安定して燃焼されます。砂の中で燃えますので、比較的燃焼温度も低く、窒素酸化物等が発生しにくいです。燃焼後の灰は、後部にありますサイクロンで未燃分や粗い流動媒体を分離して、もう一度炉のほうに戻し、また燃焼させる構造です。サイクロンの下には外部熱交換器がついていて、流動砂の熱を奪って炉の中に戻してやるという構造になります。サイクロンで分離されたガスだけが後ろのほうに行き、過熱器、節炭器、空気予熱器を通して、集じん機で灰を除去されて煙突から出されます。集じん機で集められた灰は、バンカーに入れられて、セメントあるいは埋め立てに利用されます。木くずや RPF といった燃料の中には石ころや金物が多く入ってきます。それを分離するために、下から流動砂の一部を抜いて、BA クーラーで砂を冷却して、コンベヤーを使って、磁石で鉄くずを取って、さらにスクリーンで石ころや大きな異物を取って、また炉のほうに循環します。給水は、他のボイラーと同じですが、純水装置で処理されたものを給水タンクで受けて、脱気器で溶存酸素を除去してボイラーへ送って、熱交換して蒸気タービンに送ります。バイオマスボイラーの場合も排ガス中の硫黄酸化物が非常に高くなるものもあります。そのような場合には高圧式の



給水ヒーターをつけて、給水の温度を上げて低温腐食を防ぐこともあります。

右図は、流動層ボイラーの断面図です。ほかのボイラーに比べますと、炉幅は比較的狭くて、高さが非常に高くなる構造です。これは、燃焼温度が比較的低いため、長時間の滞留時間をとって完全燃焼させるためです。後ろのほうのサイクロンで粗い灰や未燃分を取って、下の熱交換器で熱を回収し、また炉に戻します。ボイラーの高さは比較的高く、43メートルで、微粉炭ボイラーとほぼ同じ高さになります。構造的には大きくなってしまっているのが特徴です。

外部循環流動層ボイラーは、比較的小容量から大容量のものに適用できます。燃焼温度がかなり低いので、低圧熱量の燃焼にも適しています。燃料費は、石炭やバイオマスで済むので、かなり安い。一番の特徴は、燃焼温度を低く保てるので、窒素酸化物濃度も低くできます。短所は、灰処理など付帯設備が多くなりますので、イニシャルコストが高くなる。それと、砂が大量に循環していますので、摩耗する部分が非常に多く、メンテナンス費用が高くなります。



	長所	短所
外部循環流動層式ボイラー	<ul style="list-style-type: none"> ・小～大容量のものに適用可 ・低発熱量の燃焼に適している ・燃料費が安い ・燃焼温度を低く保てるために窒素酸化物濃度を低く出来る 	<ul style="list-style-type: none"> ・付属機器が多いためイニシャルコストが高い ・磨耗減肉する箇所が多いのでメンテナンス費用が高い

今まで四つの型式のボイラーのフローと特徴について説明しましたが、それを一つの表にまとめたものが右図です

	ストーカー式	重油ボイラー	微粉炭ボイラー	循環流動層
容量	小	小～大	中～大	小～大
燃焼性	△	◎	○	○
制御性	×	◎	○	△
設備費	○	◎	△	△
保守費	○	◎	△	△
燃料費	○	△	◎	○

4. 蒸気タービンの型式と特徴

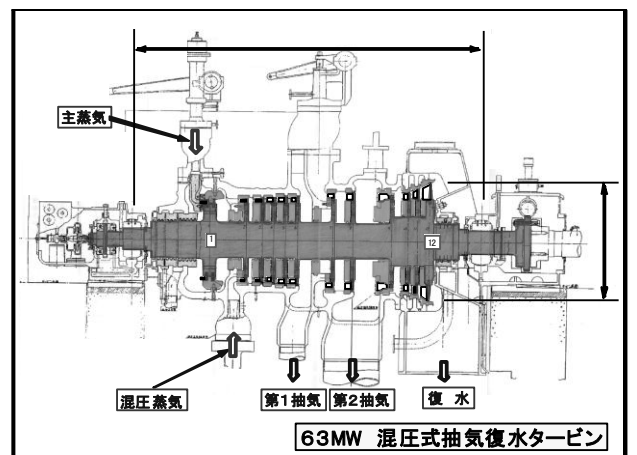
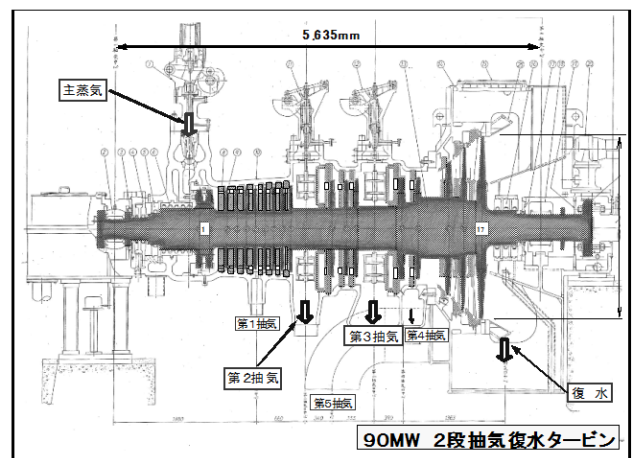
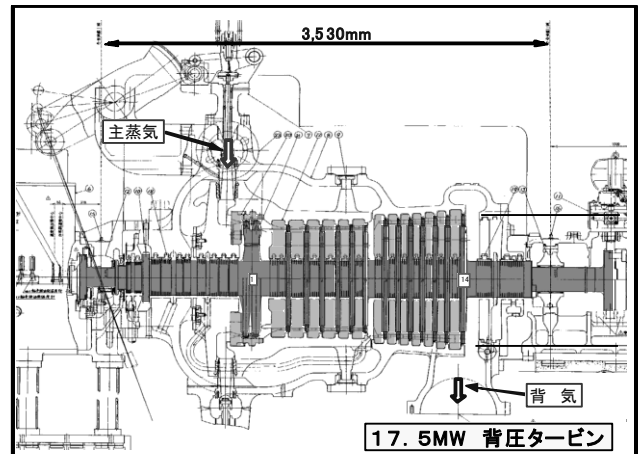
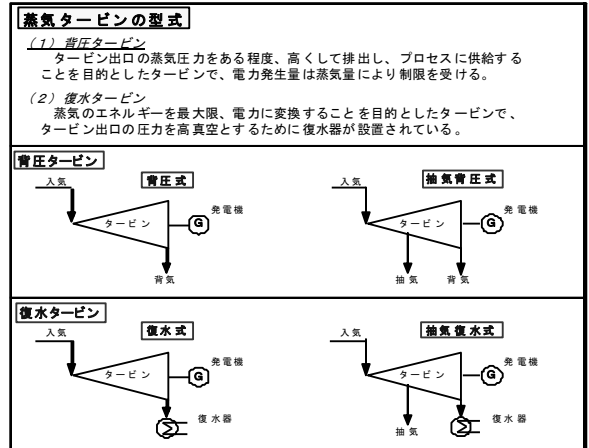
次に、蒸気タービンの型式と特徴を説明します。蒸気タービンでは、蒸気の膨張方式で区別する方法もありますが、蒸気の使用方法により分類した方法で説明

します。タービンの出口の圧力をある程度高くして排出し、プロセスへの供給を目的としたタービンを排出タービンと呼んでいます。復水タービンは、蒸気のエネルギーを最大限電機に変換することを目的としたタービンで、タービンの出口圧力を高真空とするために復水器が設置されているタービンです。入ってきた蒸気のある程度圧力を持った状態で排出する背圧タービンと入ってきた蒸気をすべて復水器に落とす復水タービンになります。途中で抽気したものを抽気背圧や抽気復水という呼び方をしています。

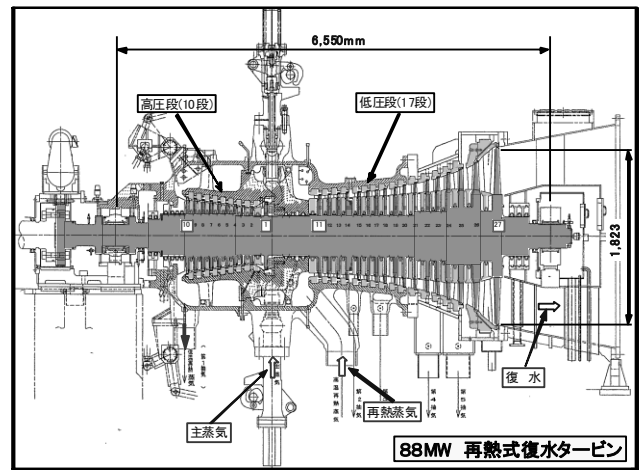
右図は 17.5 メガワットの背圧タービンで、入ってきた蒸気はタービンで膨張して発電し、ある程度の圧力を持った状態で抜いてやる、これが背圧タービンです。これは、昭和 36 年に設置されたタービンで、古いので羽根の段数が 14 と多いですが、通常は、背圧タービンの場合は羽根の段数が少なく設備費も安くできます。軸受管の長さが 3,530mm で、比較的短くなっています。

右図は、日本製紙で一番大きい 90 メガワットの 2 段抽気復水タービンの構造です。1987 年に設置されたタービンです。入ってきた蒸気は、途中で抽気、実際には 5 段抽気していますが、加減弁でコントロールしている抽気が二つしかありませんので、2 段抽気という呼び方をしています。第 1 抽気と第 2 抽気は高圧給水ヒーターへ、ついで第 3 抽気がプロセスと脱気器へ、それから第 4、第 5 は低圧給水加熱器で利用されています。そして、最後に復水器に落とすとしていく。羽根の段数は 17 段。比較的新しいタービンですので、羽根の段数としては少なくなっています。軸受間の距離が 5,635mm で、比較的長い、大きいタービンです。

右図は混圧式タービンです。主蒸気は重油ボイラーから来ますが、それと混圧蒸気として比較的低圧の回収ボイラーからの蒸気も一緒にあわせてタービンに飲み込ませています。抽気は第 1、第 2 があり、最終的には復水器に落とす構造になります。



最後に、右図は、紙パ産業では珍しいのですが、再熱式の復水タービンです。88メガワットで、売り電専用に使っているタービンです。珍しいので紹介します。上下から高压の主蒸気が入り、高压段で10段羽根があり、抜いた蒸気を再度ボイラーで過熱して、この下から再熱蒸気として入り、低压段が17段あって、熱膨張させて復水器へ抜ける形です。高压側と低压側と2段ありますので、軸間の距離は6,550mmと比較的長くなっています。このタービンの特徴は、復水器タービンと違って、後ろのほうに復水が抜けるようになっていきます。これは軸流排気という言い方をしていますが、後ろのほうに排気することで抵抗を減らし、熱損失を少なくするという型式です。



今後の展望

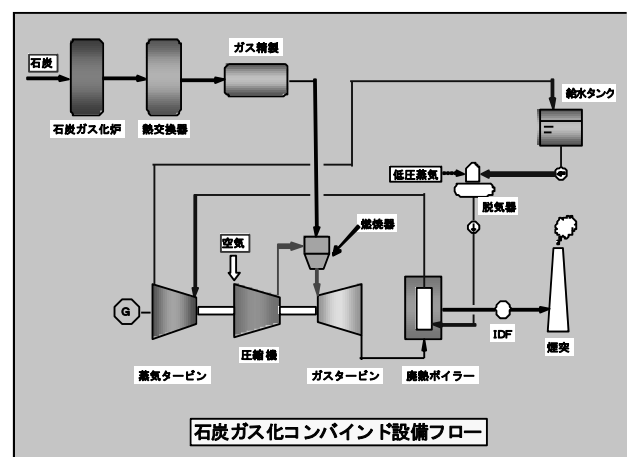
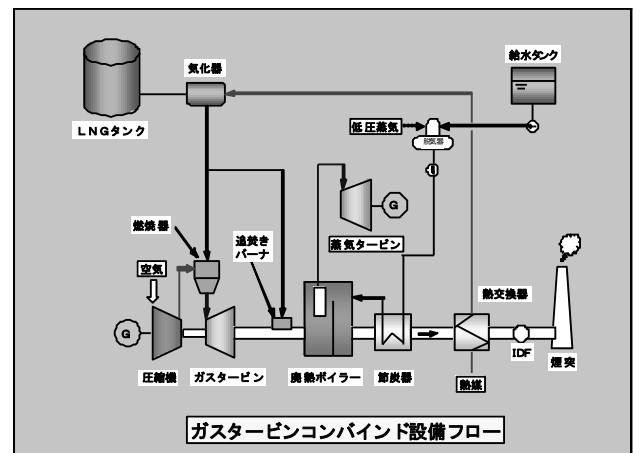
1. 老朽化した小規模設備の更新
2. 最新式発電設備の導入
3. 非化石燃料の利用拡大

5. 今後の展望について

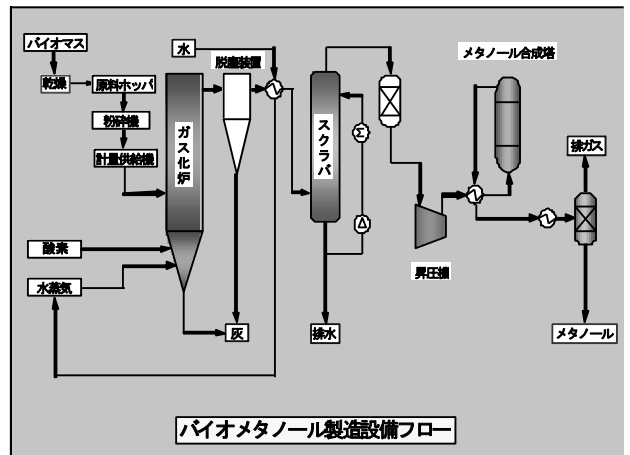
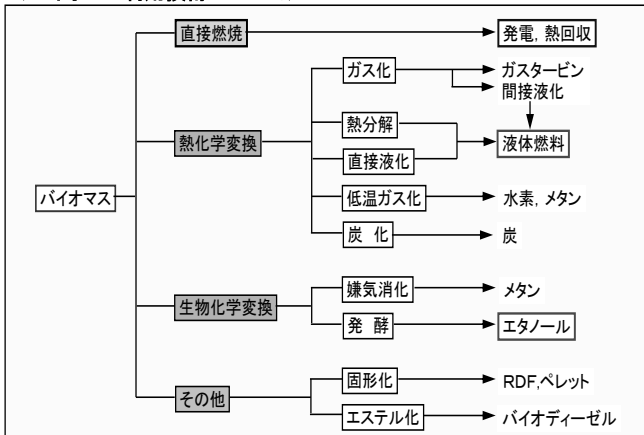
最後に、今後の展望です。紙パルプ産業のボイラー・タービンは、1970年代から80年代に設置されたものがまだ非常に多く、老朽化し、規模としても非常に小さいので、これらの更新が大事かと思っています。更新に当たっては、最新式の発電設備、燃料もLNGを含め色々ありますので、工場の立地条件に合わせて選択すべきでしょう。

次に、非化石燃料の利用拡大があります。政府は温室効果ガスの25%削減を挙げています。それを紙パ産業とても達成しなくてはなりません。さらなる非化石燃料の利用拡大が大事です。最新の技術として、ガスタービン・コンバインド設備（紙パ業界では入っていませんが）や石炭ガス化・コンバインド設備などに国を挙げて取り組んでおります。このような設備がつくとさらに発電効率がよくなるでしょう。

バイオマスの利用技術としては、今まで直接燃やして熱回収していたものが多いのですが、燃やせるものがほとんどなくなってきました。低質、例えば草や生木などを熱分解して液体燃料をつくる、あるいは生物化学変換してエタノールをつくるという技術もどんどん進められてきました。このような技術も製紙産業として取り組んでいくことが大事かと思えます。どうもご清聴ありがとうございました。



<バイオマス利用技術について>



質問 1 : 今後の展望で、老朽化した小規模設備の更新に合わせて最新式発電設備の導入とのことでした。最近の事情として、紙の生産量が横ばいか少し落ち、マシンの操業状態によって、ボイラーがフルでたけない場合があるかと思ます。そのようなときに、ボイラーの今ある設備を有効に活用する方法、例えば売り電を検討する等、何かお考えがあれば聞かせてください。

藤井 ご指摘のとおり、当社でも、つけたはいけれども、やはり生産が落ちて、発電設備がハーフロードの操業になっているものがあります。そのような場合には売り電である程度やらざるを得ないかと思ます。あと、場合によっては容量を小さくする改造も必要かと思、幾つか検討はしています。特に回収ボイラーは、ハーフロードの運転ができにくいので、電熱面積を減らすなどという改造も必要かと思ます。工場によって、置かれた立場は違うので、一番適したやり方で対処はしなければいけないと考えています。

質問 2 : 新エネルギーボイラーの設置がふえていますが、主な燃料としてタイヤチップ、RPF のほかに何かありますか。

藤井 木質系につきましては、もうとり合いになっており、かなりないかと思ます。タイヤもかなり少なくなって、こちらもとり合いになってきていると思ます。考えられるのは、例えば下水汚泥を固形燃料化する、先ほど言いました低質の木や草からバイオ燃料得る等です。今、国を挙げて利用技術を開発しています。例えば、北海道の釧路で試験をしています。また、新潟で、稲わらを改質してエタノールにする設備も実際についています。そのようなものを今後利用していかなければいけないかと思しています。

質問 3 : 微粉炭ボイラーに比べるとまだ大型化されていない設備が多いのですが、今後はもっと大容量なものに変わっていくのでしょうか。

藤井 日本製紙にも重油ボイラーの小さなものが残っている工場が幾つかあり、それらの大型化が今後重要かと思ます。ただ、石炭では、CO₂問題があり、何を使うか模索している状況です。天然ガスはCO₂対策にはなるので、一番いいのですが、天然ガスとなりますとサテライトの問題があり、パイプラインが通っていないとどうしても大量の燃料が受け入れられません。工場の場所を見ながら、どの設備をつけるか検討すべきと考えています。

以上