

共同研究会報告

熱経済技術部会報告講演

鉄鋼熱経済10年間の歩み*

藤本一郎**・桑畑一彦***

The Development of the Heat Economy in Iron and Steel Industry Last 10 Years.

Ichiro FUJIMOTO and Kazuhiko KUWAHATA

I. は し が き

昭和24年頃、日本鉄鋼業に対し、米人技師による技術指導が行なわれたが、特にヘイス氏による熱経済指導は前後2回にわたり、彼の熱心な指導振りと、日米間の技術に大きな差のあつたことにより、われわれ熱経済に関心を持つ者に対し、いや、日本の鉄鋼業の在り方に対し、大きな刺戟となつた。

当時、われわれのいた川崎製鉄葺合工場の平炉は日本でも優秀な平炉であると自惚れていたにもかかわらず、発生炉ガスや重油焚で、熱量原単位はいかにしても300万 kcal を切ることができなかつたのである。米国の平炉は150万 kcal であると聞かされ、本当にそんな低い原単位でできるものか、夢のように思つていたが、その後10年少し、日本全国の平均は150万 kcal はおろか60万 kcal となつていたのである。もちろん、当時の葺合の平炉は冷銑装入であり、また、現在のような酸素製鋼といった新しい武器は持つてはいなかつたが、この10数年の熱経済の発展を物語る良き一例である。製銑、圧延、動力といった他部門もこれと同様であり、この時期を境として、鉄鋼の熱経済は急速に進歩した。

II. 組 織

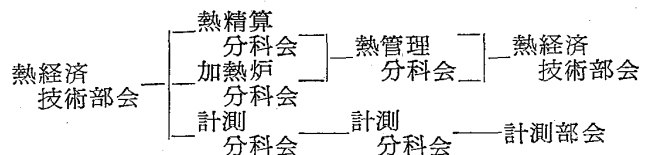
外人技師指導による刺戟と、また、その後間もなく国会を通過した「熱管理法」の制定など、熱経済に対する気運は増々上昇し、中央においては、鉄鋼技術共同研究会の中に熱経済技術部会が誕生し、また、各工場には今までなかつた熱管理課や管理課、技術課など熱経済を専門に担当する組織と、これがスムーズに活動できるよう、縦と横の関係になる工場熱管理委員会ができるなど、熱

心にその活動が始まり、現在におよんでいる。

(1) 中央における熱経済技術部会は、昭和26年誕生し、初め山岡氏を部会長に、熱精算、加熱炉、計測の3分科会ができた。熱精算分科会では各種熱設備ごとに統一された熱精算方法が研究制定され、それぞれ各自、自分の設備について反省が行なわれ、熱経済に得るところが大であつた。

加熱炉分科会では、海外の文献や、ヘイス氏の教えた加熱に対する基本計算から研究が進められ、8tと14tのモデル炉が委員の手により設計され、実際に建設され、実験に供せられた。計測分科会では、各種熱設備につきどこに、どのような計器を取付け、何を測定するか、それはどんな目的に使うのか、といった方面から始まり、各種計測方法とその応用について研究が進められた。その後、熱精算分科会と加熱炉分科会とは合併され、熱管理分科会になり、計測分科会と2つの分科会で進んでいたが、オートメーションの発展により、計測分科会の研究分野が増々拡大されるので、昭和36年「計測部会」として分離された。その変遷を第1表に示す。

第1表 熱経済技術部会の変遷



* 昭和38年4月4日、本会第65回講演大会にて講演
昭和38年9月27日受付

** 熱経済技術部会長 川崎製鉄株式会社

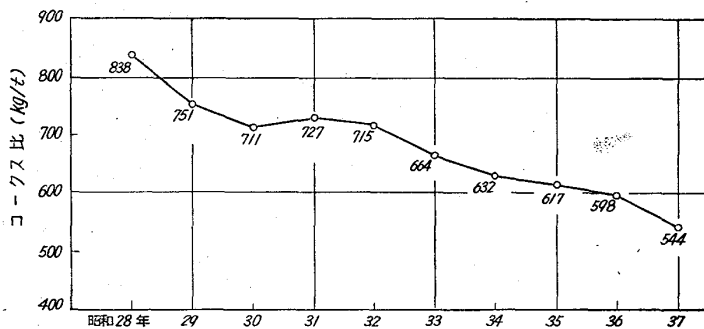
*** 熱経済技術部会副部会長 川崎製鉄株式会社

(2) 各工場には熱経済を専門に担当する組織ができたが、最初は、ヘイス氏の指導要領にしたがい、計器の取付けと炉内正圧操業から始まった。幾多の失敗と困難があつたが、却つてこれが良き経験となり、技術は次々と進歩していった。特に計器が取付けられたことにより不明であつたものが次々と判明し、その判明したことにより、また、その次の事項が判明するといった具合にさらにさらに高度になつて行つた。これと平行して、計測技術も増々進歩し、単独計測より自動制御、データロガー、コンピューターへと進歩してその止るところを知らない。熱管理技術の発展は、計測技術の発展と、管理図、統計的手法など管理技術の進歩によつて、大いに進められている。

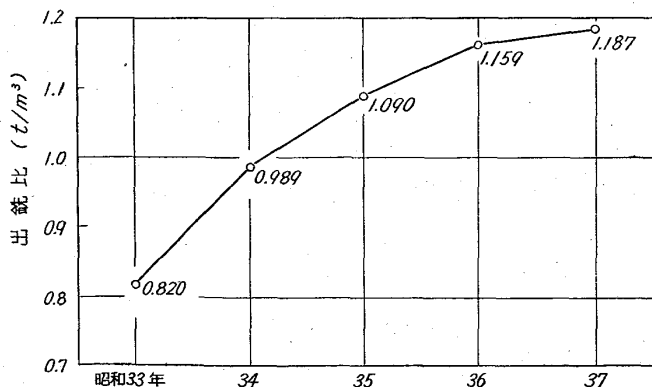
また、熱管理法に基いて、非常に難しい国家試験にパスした熱管理士が、各工場ごとに多数できたが、この人達を中心となつて、熱経済の推進に力強い協力が払われている。では、いかなる事柄が行なわれ、いかなる成績となつたか、以下各部門ごとに説明しよう。

III. 製鉄関係

最近 10 年間の全国平均コークス比と、5 年間の出鉄比の変遷を第 1 図、第 2 図に示す。一貫作業を行なつている製鉄所におけるエネルギーの 75% は、この部門で使用されているので、特に関心が深い、図に示すごと



第 1 図 全国平均コークス比



第 2 図 全国平均出鉄比

第 2 表 高炉炉容の変遷

炉容 (t/day)	昭和20年	29	31	32	33	35	36
1500						4基	7
1000~1400	4	4	4	4	5	5	12
500~900	10	11	11	15	15	16	14
~500	23	20	18	12	10	11	5
計	37	35	33	31	30	36	38

(鉄鋼連盟：日本の鉄鋼統計36. 37年版より抜萃)

く、毎年非常な勢でその成績は上昇している。

高 炉

(1) 炉容の拡大

炉の操業技術の進歩と、生産性の要求により、新らしく建設されるものや、吹下し再開される炉は、順次大型化されていった。炉高は大体 30m 位で、あまり変わらないが、炉径が太くなり、炉容の増大とともに生産性は増し、能率が上昇した。炉容拡大の状況を第 2 表に示す。

(2) 煉瓦、築炉技術の進歩と冷却方法の改善

羽口以下の炉底部（ボツシュ部にまでおよんでいるものもある）はシヤモット煉瓦からカーボン煉瓦に置き変わり、他の部分も良質煉瓦が用いられるようになるとともに、冷却水によるこれら煉瓦の保護の改善が行なわれたため、炉命は延長し、高操業度の操業もできるようになった。カーボン煉瓦は還元雰囲気において、その伝熱性とスラッグに対する耐食性に効果がいちじるしい。

(3) 鉍石の事前処理

高炉の操業に影響をおよぼす因子は非常に多数あり、これらが互に干渉し合つて複雑なものとなつている。また、炉体が大きく、その処理 t 数も大であるため、一旦、炉況が崩れ初めると、その回復にはかなりの時日を要する。このため、装入物は一定なものに、しかも、でき得る限り炉の操業に効果のあるものに、あらかじめ処理して置くことが望ましいので、次のようなことが実施された。

i) 精粒，均鉍

10mm 以下の粉は通風を害し、大塊は反応に時間がかかるため、破碎機と篩分設備によつて大体 10~35mm の範囲に精粒して使うようになったが、生産性の増大コークス比の低下など操業面におよぼす効果は想像以上に大きかつた。また、数工場では、オーベディング設備を設け、多種鉍柄の単一化と、成分的な変動を均すべく処理された鉍石を使うようになった。

ii) 焼結，ペレット

精粒が盛んになると、粉が増大し、その処理に困るので、焼結、ペレットの生産量が目立つて

増加してきたが、この効果も見逃せない。特に石灰をあらかじめ混ぜて焼成した自溶性焼結の効果は大きかった。自溶性焼結 100% 使用の工場も出現し、その成績は素晴らしい。

(4) コークスの管理

鉍石同様、コークスの管理も徹底して行なわれるようになったが、日常、特に注意が払われているものは、カッターと篩分設備による粒度管理 (20~75mm) 水分、灰分、固さの管理で、高炉には常に一定なものを送り込むよう、努力が払われるようになった。

このような一定品質のコークスを供給するための製造面での努力は、影に隠れて目立たないが、並々ならぬものがある。すなわち、日本は原料炭の半分以上を海外諸国から輸入し、コークス製造に当っては、10種類以上の名柄の石炭を注意深く配合せざるを得ないこと、また、操業面における燃料ガスも、工場全体のガスバランスの関係上、高炉ガス (約 800kcal) とコークス炉ガス (約 4,700kcal) の切替が頻繁に行なわれること、日々の高炉の操業度の変化に応じて、コークス生産量を加減しなければならないことなど、悪条件が重さなっているにもかかわらず、操業者の努力によって解決され一定品質のコークスが供給されている。また、この努力は、熱量原単位面にも現われている。

(5) 送風

高炉操業で、人為的に操作可能なものは、装入物関係と、送風関係であるが、この二つがお互に関連し合つて非常な進歩をとげた。

i) 湿度調整

大気中の湿度は、日によつて異なっているし、また、夏と冬とは大きな差がある。高炉に同じ風量を送風しても、湿度差による炉況への影響は見逃せない。このため、送風中に蒸気を吹込み、その量を自動制御装置により加減して湿度を一定に保つようにしたため、炉況が安定するようになった。さらに進んで、湿度の増減により、炉内温度の調整も可能となり、さらに炉況の安定を見た。

ii) 高温送風

鉍石、コークスなど装入物の改善、送風湿度の調整が行なわれるにしたがい、送風温度を上昇することができるようになった。4~5年前、500~600°Cのものが、現在では1,000°C近くになっている。高温送風により、大きな生産量の増大と、コークス比の低下をもたらした。

iii) 高圧操業

送風圧を高め、炉内をを高圧にしてガスを圧縮し、ガス通過速度を落して十分な炉内反応と、安定した通風を

はかることにより、炉況を安定させる。炉況の安定により、さらに送風量を増し得て生産増大が可能となる。最近、八幡製鉄東田1号炉、富士製鉄室蘭3号炉、日本鋼管水江1号炉などで始められたが、まだ実験段階である。今後、高圧高炉の数も増加し、技術も進歩して大きな成果が期待される。

iv) 燃料吹込

羽口から重油、Cガス、Rガス、タール、石炭などの燃料を吹込んで、コークス使用量を減じようとするもので、実験の段階を終え、各社競つて完全実施に移りつつある。燃料事情、経済事情から、大部分が重油の吹込であるが、重油1kg吹込により、コークス1.0~1.6kgの節約となつている。

v) 酸素添加

送風中に酸素を添加して、送風効率を上げ、生産性の増大をはかるもので、酸素添加に見合う不必要な窒素を高炉に入れなくてすむため、高負荷となつている現在の高炉には非常に有効である。同様に、送風機が限界に近づいているもの (最近の高炉操業の急激な進歩発展により、一般に送風機能力の限界に近づいた) には非常に有難い。また、最近実施し初めた燃料吹込の場合、酸素添加により、燃焼性が良くなり、吹込量の増大が期待されるなど好結果を得ている。

送風中の酸素1%増すことにより、生産量は約5%増加する。

vi) 漏風防止

高温送風になるにしたがい、熱風管各部の継手よりの漏風止めが難かしくなつてきた。漏風は実際に高炉に吹込まれる風量を不安定にするばかりでなく、折角高温に加熱された熱風を逃すことになるので、絶対に避けなければならない。これが研究改善が真剣に行なわれ、成果をあげている。

vii) 計測技術の進歩と自動制御

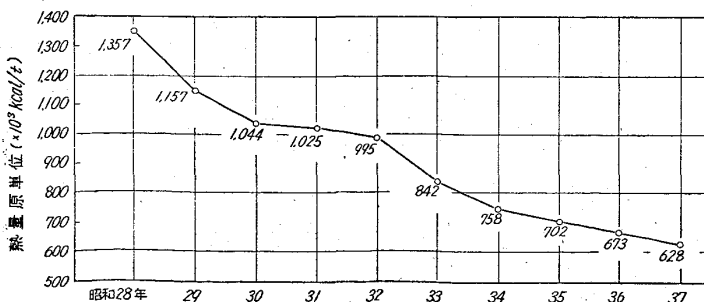
製鉄作業を急速に進歩せしめ得た大きな役割りは、勘と経験による作業から計測操業に移り、不合理な点を発見しては順次改善していつたことによるもので、今なお盛んに改善が行なわれ、その止まるところを知らない。計測そのものの技術もまた同様で、計測器を見ながら人間操作による調節から、自動制御へ、データーロガーへ、進み、現在では現場へ電子計算機を持ちこんで順次で自動制御と組合せるコンピューター・コントロールの研究段階へと進みつつある。

熱風炉

高炉の技術進歩による熱風温度の上昇 (500°C → 1,000°C) と送風量の増大要求により、熱風炉の容量が不足し

その対策に頭を悩ましているのが現状である。現在、実施、あるいは計画中のものを列挙すると、

- i) 大型化する——新設のものはできるが、既設のものは上に継足す。
- ii) 別の熱風炉を新しく新設する。
- iii) 燃焼室部分も蓄熱室に改造し、別に新しく燃焼室を設ける。
- iv) 伝熱面積の増大と煉瓦積崩壊防止のため、チェッカーは格子積からフラインタイプ煉瓦に変える。
- v) 高熱に耐える煉瓦を用いる。特に炉頂ドーム部はシャモット煉瓦より、高アルミナ煉瓦、または、珪石煉瓦に変え、従来最高温度 1,200°C で操業していたものを 1,500°C にする。
- vi) 炉壁保温剤にシリカボード、キヤスタブルなど効率よく、崩れにくいものを用いることにより、炉壁を薄くし、チェッカー煉瓦の量を増すとともに、炉体放散熱量の減少も考える。
- vii) 燃料ガスを C ガス、または重油で増熱して用いる。
- viii) 燃料ガスおよび燃焼用空気をあらかじめ予熱して用いる。
- ix) バーナーを改造して、燃料を多量に吹込めるようにする。
- x) 切替時間間隔や、切替に要する時間を短縮する。
- xi) 燃焼、切替を自動制御にして効率を上げる。
- xii) 燃焼方法を変えて、熱風炉下部の低温チェッカー煉瓦も有効に働かせる。すなわち、燃焼時、普通はドーム温度が限界まで上昇すると、燃料ガス、空気ともに絞って限界温度に保持するが、この方法では、燃料ガスはそのままし、空気量を次第に増加して過剰空気によりドームを冷し、限界温度に保つ一方、高温廃ガス量を増して熱風炉下部チェッカー煉瓦をも有効に働かせるものである。
- xiii) 廃ガス温度が上昇（熱風炉の酷使により）するため、これが有効利用（レキュペレーターなど）を考える。



第3図 全国平均平炉熱量原単位

IV. 製鋼関係

最近10年間の全国平均平炉鋼塊 t 当り熱量原単位の推移を第3図に示す。年々急速に減じ、10年前とは、半分以下になっている。

この成果は、何んと云つても酸素製鋼を完成せんと、これに向つて、努力が集中された。その効果に他ならない。

平炉

(1) 正圧操業

ヘイス氏の指導以前は計測器も少なく、目で見ての操業であつたため、平炉の燃焼はドラフトをうんとよきかせて、できるだけ燃料を燃やし、焰を勢いよく、長く延ばすことに重点が置かれ、ドアーなどから炉内に冷たい空気を吸い込み、冷していたことには気が付かなかつた。彼の指導により、炉内圧を測定して正圧になるよう、ダンパーを閉めるようになった。このため、炉内に冷空気の侵入がなくなり、冷却防止に役立つばかりでなく、燃料対空気の割合も計算通りとなり、計器による燃焼管理の緒を開いた。

(2) 燃料の変化

一貫工場においては、以前、Cガス単味では水素が多く、天井を流すといわれ、Mガスが使用されていたがCガス単味でも使え、また、重油も使うようになった。水素は無輝焰で、目測操業時代には適さなかつたのである。高炉を持たない工場は、発生炉ガスから効率のよい重油に変つた。

(3) 酸素使用法の研究

鉾石による精錬から酸素による精錬へと逐次移行していつたが、酸素をいかに有効に使用するか、使用場所、使用方法、使用量、使用時期などにつき、多くの研究がなされた。また、酸素製鋼による発生COガスの燃焼についても考慮された。

(4) 炉型と煉瓦

酸素製鋼の発達により、炉内は高温となり、また、スラッグの飛沫は甚だしくなり、天井、炉壁などの消耗が甚だしくなつてきた。耐火物、築炉技術、炉型の研究が真剣に行なわれ、この進歩が酸素製鋼の進歩をもたらした。すなわち、煉瓦としては珪石煉瓦（耐火度 1,600°C）は逐次塩基性煉瓦（耐火度 1,700°C）に代つて行き、遂に全塩基性煉瓦になつて仕舞つた。塩基性煉瓦は耐火度や、スラッグに対しては強いが、荷重、スポーリングに弱い。このため、煉瓦を吊る必要にせまられ、段々吊天井になり、さらに進んで局部修理や修理全体を早くするためあら

かしめセグメントを組んで置くようになってきた。最近
はルーフクロームと云つて、酸化クローム粉末を溶かし
て炉の天井に毎日吹付け、天井寿命を延長する方法も行
なわれている。

炉型については、特に損傷する箇所、たとえば天井を
あげるなどの対策が取られた。

最近、吊煉瓦を使つて、前壁、裏壁を炉内側に傾斜さ
せ、天井のスパンを短く、炉内燃焼室容積を狭めて、天
井寿命の延長と熱経済とをはかるメルツバーレンス型平
炉も建設され、熱経済に貢献している。

(5) 蓄熱室

(2)燃料の変化の項で説明したように、MガスからC
ガスおよび重油へ：発生炉ガスから重油へと、一貫、非
一貫ともに低熱量から高熱量の燃料に変つたため、燃料
系の蓄熱室は不要となり、それだけ空気系の蓄熱室が増
大された。このことにより、燃料と空気の蓄熱室短絡な
どによる部分燃焼がなくなり、熱経済になるばかりでな
く、蓄熱室炉命延長に大いに効果があつた。

蓄熱室に多量の煉瓦を入れ、通風の悪くなるのを吸引
ファンの強化によつて補い熱効率を上げる。廃ガス、空
気の通路研究、煉瓦の格子積方法の研究、操業中煉瓦に
付着したダストの除却法、切替時間、漏風防止、保温な
ど、熱効率を上げることにつきいろいろの研究改善が行
なわれたが、最近酸素使用量の増加によりダスト量が
いちじるしく増加したこと、熱回収は次の廃熱ボイラで
も行なわれることなどから、格子積煉瓦の目を大きくし
て熱回収は二次的に考え、ダストによる閉塞がないよう
な方法が採られるようになった。

(6) 廃熱ボイラ

終戦時の平炉には廃熱ボイラがないか、または、あつて
もほとんど動いていなかったのが実状であつたが、現在
では、どこもボイラを取付け廃熱を有効に回収してい
る。

(7) 除塵

酸素製鋼により、赤い煙がムクムクと発生し、公害関
係に非常な問題となつてきた。この煙は、粒子が非常に
細かい上に、色彩が目につきやすいため、これが除却に
は困難をきわめたが、最近、電気集塵法や、ベンチュ
リー・スクラバー法により可能となり、各社整備中であ
る。

(8) 高温冷却

平炉はその性質上、高温作業で多量の冷却水を炉体各
部に使つて煉瓦の保護を行なつている。この量は莫大な
もので、また、その持去られる熱量もばかにならない。
普通の冷却法では、冷却水の温度を入と出で 30~40°C

上げられるのがせいぜいで、1kgの水では 30~40 kcal
の熱を奪えるわけであるが、水の沸点で冷却するならば
(炉内は 1,600~1,700°C あり、十分冷却できる) 蒸発
潜熱 536 kcal も奪えることになるので、水量は驚く
ほど少なくて済む上、奪取された熱量は蒸気として、完
全に利用することができるわけである。この原理を応用
したのが高温冷却で、ボイラドラムからでた水管を、炉
の冷却しようとする部分に廻し、水を強制循環して冷却
する一方、蒸気を発生するものである。川崎製鉄・千葉
製鉄所で、平炉のドアフレーム、裏壁、天井などの冷
却に用いているが、他に計画中の工場もある。

転 炉

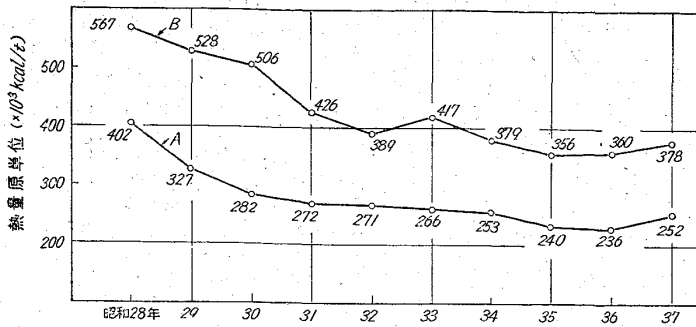
以上、平炉の熱経済の発展を記したが、最近製鋼法
も純酸素上吹転炉が発明せられ、急速に発展して、各社
競つて平炉から転炉へと移行しつつある。これによれ
ば、大量の酸素は必要ではあるが、いわゆる、今まで考
えられてた燃料は不必要となり、熱経済上にも一大転換
期をもたらした。

転炉の建設状況を第3表に示す。

転炉で熱経済上、関心が持たれているのは、廃ガスの
利用法で、現在、多くの工場では、炉上に廃熱ボイラを
設置し、直接燃して蒸気に変えているが、八幡製鉄・戸
畑製鉄所ではこのガスを燃さず、直接炉上から採集す
ることに成功し、以後、数工場で実施している。このガス

第3表 純酸素上吹転炉の建設

建設年月	会 社	工 場	炉 番	炉内容積
1957. 9	八幡製鉄	八 幡	1	114.0m ³
" "	" "	" "	2	" "
1958. 1	日本鋼管	川 崎	1	93.0
" 2	" "	" "	2	" "
1959. 9	八幡製鉄	戸 畑	1	128.0
" "	" "	" "	2	" "
1960. 3	日本鋼管	水 江	1	135.0
" "	" "	" "	2	" "
" 10	尼崎製鉄	尼 崎	1	71.0
" "	" "	" "	2	" "
" 11	八幡製鉄	戸 畑	3	142.0
" "	富士製鉄	広 畑	1	135.0
" "	" "	" "	2	" "
1961. 6	住友金属	小 倉	1	102.0
" "	" "	" "	2	" "
" 7	富士製鉄	室 蘭	1	165.0
" "	" "	" "	2	" "
" 10	神戸製鋼	神 戸	1	140.0
" 11	" "	" "	2	" "
1962. 2	八幡製鉄	No.2 戸畑	1	238.0
" 3	" "	" "	2	" "
" 4	川崎製鉄	千 葉	1	242.4
" 6	" "	" "	2	" "
" 9	日本鋼管	水 江	3	143.0
1963. 2	住友金属	和歌山	1	252.0
" "	" "	" "	2	" "



A: 均熱炉 B: 圧延加熱炉
第4図 全国平均熱量原単位

は、現在、ボイラで蒸気に変えているが、発生蒸気は転炉周期の波に左右されず安定している。将来、このガスは、化学原料として使うこともできるし、また、熱エネルギーとして他に輸送し、好適の設備に使用もできる。

V. 圧延関係

最近10年間の全国平均、均熱炉と圧延加熱炉の鋼材t当り熱量原単位を第4図に示す。

ヘイス氏は正圧操業、炉の形状、伝熱計算、スキッドで失う熱量の大きなこと、計測操業などを教えたが、これがきっかけとなり、大きな進歩をとげた。

均熱炉

(1) 燃焼

炉内温度の測定も十分でなかつたせいもあり、一般に炉内は高温過ぎ、また、焰は直接鋼塊をなめるなどのため鋼塊表面は過熱され汗をかく状態であつた。このため圧延時スケールの噛込みが多く、歩止は悪く、また、炉床には溶融したノロが流れ、このノロ除去には困難をきわめていたが、炉内正圧操業、炉温管理、焰を鋼塊に当てないようにすることにより、好結果を得るようになった。

さらに進んで、鋼塊がある温度に達するまでは燃料を最高に入れ、炉内温度を従来の設定温度より上昇させ、急速に加熱する「急速加熱」を行なつて炉の回転率を上げ、熱経済をはかるようになった。

(2) トラックタイム

鋼塊の型抜き、輸送の合理化をはかつて、トラックタイムを縮める一方、鋼塊の冷却凝固と時間との関係を研究し、鋼塊の冷え過ぎない最適時刻に均熱炉に装入して加熱時間の短縮がはかられている。また、出鋼、圧延均熱炉操業の関係を綿密に連絡し合い、最適スケジュールをたてることによる均熱炉の生産性向上も実現されている。

(3) 計測器の活用

計測技術は進歩し、炉内圧制御、燃料圧力制御、炉内

温度による燃料使用量制御、燃料—空気比率制御、炉蓋開閉による燃料、空気の遮断通入などが行なわれている。

焼上り状態も燃料使用チャートから判断をつけているが、最近はさらに進んで、情報装置や電子計算機をも加え、平炉、転炉、圧延機、剪断クレーン、運搬車などとの間に情報交換を行ない、また、ピットごとの焼上り時刻を電子計算機により予測して、その場に適した操業スケジュールの決定、操業指令を行なうなど、お互に時々刻々変化している現場作業にあつて、これを最適操業に持込まんと努力する工場もできてきた。

鋼材加熱炉

(1) 炉型

一般にバッチ式加熱炉は少なく、連続式加熱炉が多くなつてきた。傾斜式炉も炉内圧を正圧に保つことが困難で廃されてきた。連続加熱炉は圧延能力の増加とともに段々大型に、1带式より2帯3带式へと、さらに進んで5带式のものもできてきた。炉長を余り長くできないので、急速加熱の方向に向い、自然、炉尻における廃ガス温度は高くなるが、自動制御と優秀なレキュペレーターの出現によつて、この廃熱は熱風として有効に炉に戻されている。

(2) 燃焼と炉の能力増大についての研究

各種計測器、特に吸引温度計や熱流計、鋼材温度上昇を直接測るサーモカップルなど、炉の試験のため特に計画された計測器をも含め、これらを十分に活用して数知れぬいろいろな研究改善が行なわれた。炉の効率向上、能力の増大などその効果はいちじるしい。

(3) スキッドパイプの保温

スキッドパイプは水で冷却しているため、この冷却水により持去られる熱量は大きく、多いところでは入熱の20%以上にも達していたし、鋼材を部分的に冷却して均一加熱が困難であつた。パイプを保温することにより、この弊害は減少でき、冷却水による熱損失も10%位まで下げられるが、炉内の高温とパイプ内の水温のいちじるしい温度差、鋼材移動に伴う振動などのため、この保温は短期間で剥れてしまう。いろいろな材料や施行法の研究が行なわれ、現在では半年～1カ年もつようになった。また小荷重の炉では、電融アルミナ煉瓦をスキッド代りに敷き、水冷しないものもできている。

(4) 築炉材料・技術の進歩

始めシヤモット煉瓦だけで構築されていたが、熱放散が問題になり、いろいろな保温材が外壁に取付けられた。次に、炉の構築時から外側は断熱煉瓦、内側はシヤモッ

ト煉瓦という時代を迎えたが、これでは炉壁が厚くなる。炉内容積をなんとか大きくして炉の能力を上げようと、壁を薄くすることを考え、耐火断熱煉瓦が用いられるようになった。最近、不定形耐火物の発達により、炉壁、天井などは段々煉瓦からこれに代つてきている。不定形耐火物は補修が非常に容易で、悪い部分のみを炉の外部から吹付けて直せるので、週休日、圧延機の手入をしている間に簡単に補修することができる。煉瓦時代、炉を冷し、数日かかって大々的に積替えていたのとは雲泥の差がある。引いては熱経済にも大きく響いてくる。

(5) 廃熱利用

いろいろな廃熱利用法が研究された。特に最近炉尻における温度上昇に伴つて、その研究は活発になった。普通鋼製のものでは高温に耐えないので、タイルレキュペレーターを用いるもの、タイルとメタルの組合せ、廃ガス中に空気を吹込んで一定温度まで下げ（自動制御による。このようにすれば廃ガス温度は低下するが、廃ガス量は増し、総熱量は変らない。）フィンのある耐熱鋳物を用いるなど、いろいろその場に適したものが使われるようになった。

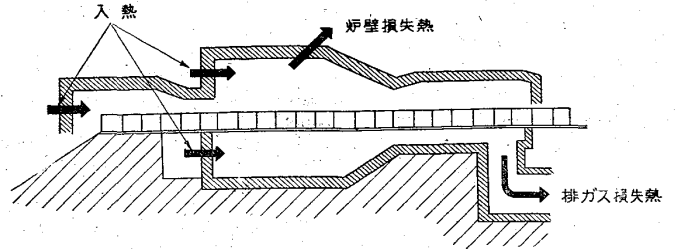
また、能力が増加したため廃ガス量が増し、レキュペレーター容量の不足、ドラフトの低下をきたす。これの解決策としては、吸引ファンを取付ける一方、廃熱ボイラを付けるなどで、廃熱回収の向上をはかった。

(6) 連続加熱炉の特性式

これまで、炉の良し悪しの判断は、その炉の熱量原単位で比較するか、先程説明した熱精算小委員会で決定した方法を各工場で忠実に守つて（これには相当な労力が必要）測定計算された熱精算結果を比較していたが、同じ炉でも、炉の操業度により大きく差異のであることがわかり、操業度を無視して炉の良し悪しを判断することは駄目だということになった。そこで元東都製鋼の山口氏が主となつて、いろいろ理論的に考え、度重る測定、実験研究の結果「連続鋼材加熱炉の特性式」を新らしく考案した。これは一種の非常に簡略化された熱精算であるが毎日の作業データから簡単に計算でき、操業度を加味した上に、図表化できるので、それぞれの炉の比較は勿論、その炉自身についても毎日の操業反省、故障の発見など、その活用範囲の広いもので、熱経済推進のために非常に効果があつた。

連続鋼材加熱炉（第5図参照）では、燃料として供給された熱は一般に

$$\begin{aligned} \text{入熱} &= \text{有効熱} + \text{炉壁損失熱} \\ (\text{燃料燃焼熱}) &= (\text{鋼材に与えた熱}) + (\text{炉壁より逃げる熱}) \\ &+ (\text{廃ガスの持去る熱}) \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$



第5図 連続鋼材加熱炉

となる。ところが、最近のように計測技術、燃焼技術が進歩してくると、鋼材の加熱温度はほとんど一定（普通鋼の場合 1,200~1,250°C）であるし、また不完全燃焼廃ガスもほとんどでなくなった。（1）式のそれぞれを研究すると、

有効熱
 $(\text{鋼材に与えた熱}) = 190,000 \text{ kcal} \times \text{加熱 t 数}$

炉壁損失熱
 $(\text{炉壁から逃げる熱}) = \text{普通操業の場合、炉内温度が余り変らないのでほとんど一定}$

廃ガス損失熱
 $(\text{廃ガスの持去る熱}) = \text{いろいろな理論と実験の結果普通操業の場合、入熱と廃ガス損失熱との割合がほとんど一定で燃焼室温度と廃ガス温度の比}(K) \text{に等しいことがわかつた。}$

すなわち(1)式を書き直すと

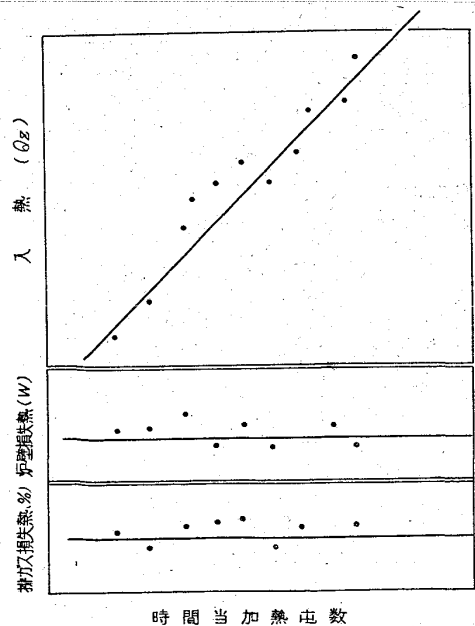
$$\begin{aligned} \text{入熱} &= \text{有効熱} + \text{炉壁損失熱} + \text{廃ガス損失熱} \\ Q_z &= 190,000 \times M + W + KQ_z \end{aligned}$$

これを解くと

$$Q_z = 190,000M / (1 - K) + W / (1 - K)$$

ただし Q_z ……入熱 kcal/hr

M ……加熱 t 数 t/hr



第6図 連続鋼材加熱炉の特性式

W ……………炉壁損失熱 kcal/hr

K ……………燃焼室温度と廃ガス温度との比

すなわち、燃料使用量、加熱 t 数、燃焼室温度、廃ガス温度がわかれば、簡単に炉壁損失熱も廃ガス損失熱も計算できる。この結果を計算の都度、第6図のような図表にプロットする。正式の熱精算を実施した場合も記入する。このようにして与えられたプロットの内通常作業の場合のみを結べばその炉の特性式が得られる。

VI. 動力関係

燃料管理

高炉、コークス炉から副生されるBガス、Cガスは、エネルギー源として貴重なもので、これが有効利用を考えなければならない。しかし、Bガスは発熱量が低い(800~850 kcal)上に、ダストが多く、その上爆発やガス中毒の危険性があるため、以前はあまり歓迎されず、熱風炉や、ボイラには使われてはいたが、ほかにも積極的に利用しようという意欲は少なかった。Cガス利用も同様で、これらのガスは利用というより、むしろ爆発を起さないことに重点が置かれ、安全のために放散する量も大きかった。

熱経済に関心が持たれるにしたがい、これらガスの有効利用と安全性確保が問題となり、これが改善に向かつて多くの投資が行なわれた。

(1) 熱管理センター、エネルギーセンターの設置

Bガス・Cガス・石炭・重油など工場中で使用される燃料を有効に配給することと、ガス爆発の危険を防止するため、熱管理センターが設置された。ここには、製鉄所内各所のガスの発生と使用状況、他燃料の使用状況などがわかるようになっており、また、このセンターでの判断に基いて権限ある命令が下せるようになっていく。ここでいろいろな作戦が練られるとともに、刻々その場に適した処置が採られるようになったため、熱経済のため、大きな効果が挙げた。すなわち、刻々変化するB、Cガスの発生量と、各設備での使用量(負荷の状態予想)ガスホルダーの調節可能量、重油、石炭など他燃料への切替、または、B、C、Mガス間の切替設備とその切替時刻(作業能率に悪影響をおよぼさない時刻)などをよく判断し、ガス放散量の低減と作業能率向上をはかるよう、燃料配給を調整する。

最近では、燃料のほかに、蒸気、電力、酸素なども加えエネルギー全体を総合的に考えてコントロールする「エネルギーセンター」へと発展しつつあり、データーロガーなどを備え、作業工場の運転と修理計画に基いて、週日、時ごとにエネルギー配給計画を立てている。

(2) Bガスの清浄

Bガス中のダストを除去し、清浄するため、大抵の工場ではタイゼンに代つて湿式電気コットレルが採用されるようになり、その清浄度はほとんど完全に近くなった。これにより、コークス炉などの小口径のバーナーも詰らなくなり、燃焼調節が楽になつたばかりでなく、ボイラの水管や、熱風炉の格子煉瓦など伝熱面にダストの付着が少なくなり、伝熱がよくなつたため、大きな熱経済をもたらした。

(3) 最適燃料とその使用条件の検討

設備ごとに、最適燃料の選択とそれを使用する場合の最適条件を検討し、燃料の供給をするようにした。

たとえば、平炉は高熱量の燃料が必要で、重油か、Cガスが適しており、また、その供給圧は高圧がよい。熱風炉や、均熱炉はあまり熱量の低いBガス、またはMガスが適し、その供給圧力も低くしてよい。これも燃料の価格と、入手の容易さ、その量をも十分考慮に入れて検討されなければならない。このようにして、各設備ごとの最適燃料と、その供給条件がきまれば、自動制御装置を使つて、常に一定条件(ガスならば、熱量、圧力を一定にして)で供給するようにする。このようにすれば、それぞれの設備では、常に安定した最適条件で作業ができ、熱経済になるばかりでなく、成品の品質も安定する。

自家発電

圧延、酸素製造、電気炉など、工場で使用される電力は大きいのが、停電どきの保安対策、B、Cガスなど自家発生之余剰エネルギーの有効利用上、多くの一貫工場では、使用電力の約半分は自家発電によつており、このための消費エネルギーは非常に大きい。

第4表に、発電ボイラ設備の10年以前のもの、その後建設されたものを示しているが、蒸気圧力、温度共にすばらしく上昇し、容量も大きくなつていく。型式も自然循環から、強制循環やモノチューブ貫流へと移り蒸発管数の著減、蒸発管1本当りの蒸気蒸発量の増大、均等化、ドラムの僅少化、不要化などが行なわれ、汽缶効率も80%のものが90%を超過するようになった。

これは、この10年間に、金属材料の高度化、溶接技術、燃焼装置、水処理設備の向上、計測、制御技術の進歩などに負うところが大きい。重油、ガス混焼の設備が圧倒的に多いのは、石炭に比べ、重油が安く、便利であるからである。

発電機も、高温、高圧に大型化され効率向上がはかられている。

高炉用送風機は、発電所内に設置され、発電用蒸気に

第 4 表 製鉄所発電ボイラ設備の変遷

	昭和 26 年以前建設のもの						昭和 27 年以後建設のもの					
蒸気圧力	28~54 kg/cm ²						27~108 kg/cm ²					
蒸気温度	385~465°C						485~540°C					
蒸発量	20~120 ton/hr						70~260 ton/hr					
燃 料	S	P	G	S.G	P.G	O.G	S	P	G	S.G	P.G	O.G
	10基	10	10	15	55	—	—	—	—	—	10	90

註 S; 石炭機械焚ボイラ, P; 微粉炭燃焼ボイラ, G; 瓦散焚ボイラ, O; 重油焚ボイラ

よつて運転されるが、高炉の大型化、送風圧力の高圧化に伴つて大型化され、また、従来のターボ型から、軸流型へと移行し、送風条件が相等変化しても、効率上、あまり影響のないよう考慮されるようになった。

VII. エネルギーバランス

従来、熱管理は、個々の熱設備や、燃料および燃焼、あるいは廃熱の利用などに重点が置かれて進められ、また、本熱経済技術部会においても、これらが毎回の中心議題として討議の対象となつていた。

しかし、近年、生産設備の拡充に伴い、各工場での使用するエネルギーも急増し、エネルギーの総合的な検討も重要な課題となつてきた。このような気運を背景として、蒸気、電力をも含めた総合エネルギーの検討を進めるため、各社工場のエネルギーバランスの現状を調査することになり、同じ形式により、昭和36年度歴年により一貫工場9社14工場と、非一貫工場6社10工場を対象に調査した。内、一貫工場の分のみ纏めたので、その大要を説明する。

第5表は、工場別、供給エネルギーと、購入エネルギー、およびその割合を示している。それぞれの工場の設備、生産品、特殊性、または、蒸気や電力の発生、使用状況などにより、一概にはいえないが、この割合の低いほど、副生エネルギーを上手に使つたことになる。コークス炉を有する工場と、ない工場とでは差があり、その平均は0.472と0.717になつている。

第6表は、粗鋼t当消費エネルギーを示している。これは、供給エネルギー、購入エネルギーそれぞれから外販されたエネルギーを差引いたものであるが、11,967×10³ kcal/t; 6,162×10³ kcal/tとなつている。購入エネルギーの分を石炭、重油に換算すれば0.822t; 0.649klとなる。戦前、鋼塊1t造るのに石炭3tかかるといわれていた時代とは雲泥の差である。

第7表は、全使用エネルギーに対するエネルギー種別

第 5 表 一貫工場における供給エネルギーと購入エネルギー

工 場	供給エネルギー ×10 ⁹ kcal/y (A)	購入エネルギー ×10 ⁹ kcal/y (B)	(B)/(A)
A	4,300	2,148	0.500
B	2,152	885	0.411
C	2,488	1,176	0.473
D	745	368	0.493
E	758	360	0.475
F	2,551	1,186	0.465
G	2,016	918	0.455
H	1,232	537	0.462
I	2,438	1,150	0.472
* J	438	293	0.670
* K	435	314	0.723
* L	500	344	0.689
* M	119	97	0.812
* N	386	267	0.691

註 * 印はコークス炉の無い工場

第 6 表 一貫工場における粗鋼 t 当り消費エネルギー

工 場	供給エネルギー (10 ³ kcal/t)	購入エネルギー (10 ³ kcal/t)
A+B	12,488	5,837
C	13,649	6,437
D	14,606	7,206
E	10,935	5,098
F	19,724	8,626
G	12,066	5,331
H	19,519	8,489
I	16,905	7,958
* J	8,453	5,666
* K	5,721	4,135
* L	9,951	6,767
* M	5,062	4,113
* N	6,494	4,440
平 均	11,967	6,162

註 * 印はコークス炉の無い工場

割合を示す。当然のことながら、コークス炉を持つ工場と、ない工場とでは差がでている。しかし、高炉から発生するBガスの割合は同じであるとして、コークス炉のない工場の分を補正するとB欄のようになり、蒸気、電力、その他が幾分少なく、これとCガス不足分を重油で

第7表 全消費エネルギーに対するエネルギー種別割合

エネルギー種別	工場	エネルギー種別割合	
		コークス炉を有する工場	コークス炉の無い工場
		A	B
石炭	炭	42.1	0.9
コークス	ク	27.8	50.1
重油	油	2.9	17.1
高炉ガス	炉ガ	10.6	19.2
コークス炉ガス	ク炉ガ	7.9	0.5
蒸気	気	6.4	9.7
電力	力	1.8	2.3
其他	他	0.5	0.2
計		100.0	100.0

補っている。

また、この表でも明らかなように、現在の製鉄所は、なんといつても、エネルギー源としては石炭系のものが大部分であるが、これから、高炉への重油吹込み量が多くなってくるであろうし、コークス比は低下して、この割合は段々変ってくるであろう。ガスエネルギーに対し、蒸気エネルギーの割合の多いことや、電力エネルギーの少ないことなど感ぜられる。

第8表は、一貫工場の部門別エネルギー種別消費割合を示す。これは、コークス炉を有する工場の総まとめであるが、いかに製鉄部門で多量に使われているかがわかる。これはコークス炉も含んではいるものの、製鉄部門の熱管理を徹底的にやることが熱経済に一番効果のあることがわかる。次に動力、圧延、製鋼という順序になつ

第8表 コークス炉を有する一貫工場の部門別エネルギー種別消費割合

エネルギー種別	部門	エネルギー種別消費割合										
		製鉄	製鋼	圧延	動力	工作	運輸	化工	其他	放散	外販	計
石炭	炭	40.3	—	—	1.3	—	0.1	—	0.1	—	0.3	42.1
コークス	ク	26.7	—	—	—	—	—	—	0.5	—	0.6	27.8
重油	油	0.2	1.8	0.6	0.3	—	—	—	—	—	—	2.9
高炉ガス	炉ガ	4.9	—	1.0	3.1	—	—	—	0.4	1.2	—	10.6
コークス炉ガス	ク炉ガ	1.6	1.1	3.3	1.0	0.1	—	0.1	0.4	0.1	0.2	7.9
蒸気	気	1.4	0.2	0.3	3.7	—	—	0.2	0.4	0.1	0.1	6.4
電力	力	0.3	0.1	0.7	0.3	—	—	—	0.3	0.1	—	1.8
其他	他	0.1	—	0.1	0.1	—	0.2	—	—	—	—	0.5
計		75.5	3.2	6.0	9.8	0.1	0.3	0.3	2.1	1.5	1.2	100.0

第9表 銑鉄t当のB, Cガス発生とその熱量

	C.R. 800kgの場合	C.R. 550kgの場合
コークス使用量	800kg	550kg
原料炭使用量 (コークス歩止67%)	1,200kg	825kg
Cガス発生量 (装入炭t当 320m ³)	384m ³	264m ³
Bガス発生量 (装入コークスt当3,500m ³)	2,800m ³	1,925m ³
Cガス発熱量 (4,700kcal/m ³)	1,800×10 ³ kcal	1,240×10 ³ kcal
Bガス発熱量 (820kcal/m ³)	2,300×10 ³ kcal	1,580×10 ³ kcal
B, Cガス熱量合計	4,100×10 ³ kcal	2,820×10 ³ kcal
差	1,280×10 ³ kcal	

ている。

Bガス, Cガスの放散: 各工場では相当な努力が払われているにもかかわらず、まだある。絶無にしたいものである。

私達が、このような大掛りな調査をしたことは、工場の熱経済をはかるには、各設備ごとに細かく実績を挙げて行くことも勿論必要ではあるが、工場全体の立場に立つて広い視野から、最も経済になるよう考えて行きたいためである。どの炉でも、高熱量の燃料を使えば、原単位の下ることはよくわかっているが、工場全体から考えて、どこに、どんな燃料を、どのくらいのカロリーでという具合に、総合的に検討したいためである。

Cガス, 転炉廃ガスなど、その性質と経済性、資金などを検討して、一部化学工場方面に廻すこともできるであろう。また、発電所ボイラは、B, Cガスのバッファとして考えているところが多いが、折角、高い投資をして建設したのだから、これを最高能率に近い稼働に持っていき、多量に、割安に発電して、購入電力を減じて現金の流出を防ぐといった手も、最近のように金繰りに苦しい時代には、有効な手であろう。

エネルギーバランス上、最近非常な変革が起こりつつある。それは、最近の製鉄技術の向上にしたがい、コークス比はどんどん低下し、Bガスの発生量、およびカロリーともに低下しただけではなく、コークス炉の操業度

合も低下し、Cガスの発生量も減じてきたことである。その上高炉の重油吹込により、ますます、コークス消費は少なくなってきたことである。第9表に、コークス比800kgの場合(昭和29年頃)と550kgの場合(昭和37年頃)との銑鉄t当、B、Cガスの発生、その熱量の計算を示すが、月20万tの銑鉄を生産する工場の場合を想定すると7、8年前とでは、重油に換算して27,000klに相当するガス不足になっている。ガスがあまると考えていた数年前とは変つて、逆に、重油で補わなければならない時代になつてきたのである。今後、ますます高炉への重

油吹込、酸素吹込は強化されるであろうから、重油の占める割合は非常に大きなものとなつてくるであろう。鉄鋼業としては、今から重油をできうる限り安く買えるよう、努力する必要がある。最近、電力や船舶で問題となつている「原油の生焚」これの実施にこぎつけるまでには相等の困難が予想されるが、各社協力して、まづ高炉への吹込にだけでも是非実行したいものとする。鉄鋼で問題になつている硫黄の問題、噴霧の問題などよい方向に向かつており、価格も現在の重油よりは安いはずである。