



鉄の歴史 海外技術の吸収と日本鉄鋼業の発展-5

高炉の高圧操業

—室蘭第3高炉の高圧操業—

High Top Pressure Operation of Blast Furnace

—A Performance of Muroran No.3 Blast Furnace—

山田龍男

元新日本製鐵(株)

Tatsuo Yamada

1 日本における高圧操業採用の背景

昭和35年(1960年)前後の日本の製鉄技術は、高炉装入物の整粒、複合送風、自溶性焼結鉱の採用等で進歩を遂げていたが、米国やソ連で実施されている高圧操業は、まだ日本で行われていなかった。

日本へ高圧操業の特許が出されたのは、米国のアーサーザリトルであった(1959年頃)。後日リパブリックスチール社名義となり、特許料は2万ドル/基(但し360円/\$)であった。昭和38、39年頃川崎製鉄千葉第5高炉で高圧操業が採用された時に、リパブリックスチール社と薄板部門で親しい関係にあったので特許料を値引きしてもらい、我々先行組(八幡、富士、日本鋼管3社)もその恩恵を受けた。

八幡製鉄は東田、日本鋼管は水江、富士製鉄は東海製鉄の高炉に採用することを決めていた。しかし不況により、東海製鉄の高炉の建設が遅れたため、室蘭第3高炉が先に稼動することとなった。

八幡・マッキー、鋼管・コッパース、東海・マッキー、室蘭は3ベルが理論上良いということでジョンモア&サンズとした。いずれも米国の会社である。

八幡、鋼管は昭和37年秋、室蘭は昭和38年1月10日の火入れであり、高炉操業への移行はいずれも38年中頃であった。炉頂圧力を上昇すると高炉本体が背伸びをするので、これの対策が必要であったためである。室蘭の高炉は新設ではなく、改修高炉であったので、古い炉体槽を使用することから、火入れ前に炉頂圧の設計値相当の圧力をかけて、炉体のデフレクションを測定して、確かめていた。

2 高圧高炉の検討

富士製鉄では東海製鉄建設のため、既に3グループが高圧高炉の海外調査を行っていた。その報告書があったことと、

マッキー、コッパース、ジョンモア&サンズ各社の技術PRを何回か聞いていたので、著者は海外調査のメンバーに加わっていなかったが、大体どこにどんな特徴があるぐらいは概略見当がついていた。

マッキーは炉頂装置に特徴があり、コッパースは装入シーケンスに特徴があって、マッキーの受注した高炉でもコッパースのシーケンスが採用され、反対にコッパースの受注した高炉でも、炉頂装置はマキキトップが採用されていた。ジョンモア&サンズは3ベルの炉頂装置に特徴があり、炉頂圧と大気圧との間が2室式となる。マッキーとコッパースの2ベルの1室式よりもベルの寿命ひいては高圧操業期間を長く出来るはずである。

マッキーは三菱重工(三菱商事)、コッパースは川崎重工(大倉商事)、ジョンモア&サンズは播磨造船(日商)であったが、播磨造船は石川島重工と合併し、実際の工事は石川島播磨重工で実行された。

3 室蘭第3高炉の高圧設備

3.1 バケット方式からコンベアー方式へ

当然、出鉄量が増加するので原燃料の捲揚能力を増強しなければならなかった。従来のバケット方式では能力不足でスキップ方式を考えたが、スキップピットを掘削すると水が出ることで、両側の第2・第4高炉稼動中は大量の土砂の運搬が困難なことからコンベアー方式を考えた。将来の第2高炉の改修時に折り返し点の中継塔を共用に考え、主No.1コンベアーを第2高炉側へ出し(第2高炉では主No.1コンベアーを第3高炉側に出す計画)、中継塔で主No.2コンベアーを折り返し、従来のバケットの横行ガーダーを利用して、主No.3コンベアーを炉頂部に設置することにした。しかし、炉頂の高さと中継塔の位置関係からコンベアーの傾斜が急になり、角度が20度を超えたためU型コンベアーで対応することに

した。特に転がりやすいペレットが実際に運べるかが問題であり、東北の松尾鉱山において実物テストを行った。

前述の通り多数のコンベアーを乗り継ぐ場合、コンベアー上の装入物の長さが変われば、ベル開閉のタイミングと合わなくなり、ベル装入の乱れが生ずる。従って最初にコンベアーに乗せた通りの長さを、途中で何回乗り継いでも維持することが重要となり、乗り継ぎのシュートの設計が難しくなる。さらにコンベアーの長さの長短によって寿命が異なるので、ベルト自体の構造も配慮しなければならない。図1に原料捲揚系統図とコンベアーの寡眞を示す。

3.2 ベルのシール

高圧操作を維持することは、即ち炉頂圧をキープすることであり、それにはベルのシールが鍵となる。既に2章で炉頂部の1室式と2室式のことは記したが、ベルは装入物の通過によって磨耗する上、一度ガス洩れが発生するや、凄いダストカッティングによって、シール部分が掘られてしまう。ベルとホッパーのシール部分は表面硬化材を溶接し、摺り合せを充分にしなければならない。この硬化材にはジョンモア&サンズからハインズ、リンカーン、スツウディー等が推薦された。いずれも米国の溶接メーカーのものであった。室蘭では鑄鋼のベルにステンレスを下地にして、ステライトを肉盛りした。350~400℃での溶接であり、徐冷の段階でクラックが入り、何回となく再溶接する苦勞があった。それでも焼結鉱、鉱石、コークス等の装入物の落下によって、シート部分のガスシールを維持するのは困難であった。ベルの持つ装

入物の分配とガスシールの機能を分解して、装入物に触れることのない弁でシールを行い、ベルは分配のみとすることで高圧状態が維持出来る。弁は熱風炉のカウパー弁のような開閉にすれば、弁に装入物が触れないようにでき、しかも弁のシール部をメタルタッチとラバータッチの二重方式にすればよい。このような考え方でIHIと共同発明の俗称「2ベル・バルブシール」型炉頂装置が生まれたのである。これによって、米国の高炉のように、ガス洩れで高圧操作が出来ないということは皆無になった。この装置は大河内賞、日本機械学会賞、機械振興協会賞を受賞した。

3.3 セプタム弁

炉頂の圧力を高めるためには、高炉から排出するガス管の中に仕切弁を入れてガス流を絞れば良い。セプタム弁は3ヶのバタフライ弁から構成され、それぞれオン・オフバルブ、レンジバルブとオートマチックバルブで構成されている。オン・オフバルブは手動で開閉して固定し、オートマチックバルブが30~60度の制御性の良い開度になるように、レンジバルブを自動で開閉する仕組みになっている。

また、何等かの原因で炉頂圧力が異常になった場合、炉頂の清浄ガスブリーダー弁が開き、まだ圧力が下がらなければ通常の内開ブリーダー弁を次々開き、それでも圧力が下がらなければ機械的に重錘を押し開く方式の、外開ブリーダー弁を開くようになっている。

しかし、火入れ前にブリーダー弁を開くテストをしてみると、僅か69KPa (10PSI, 0.7kg/cm²)でもジェット機が墜

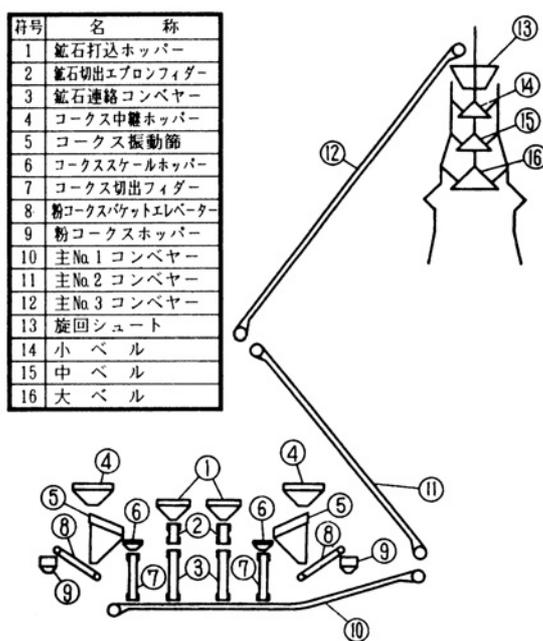
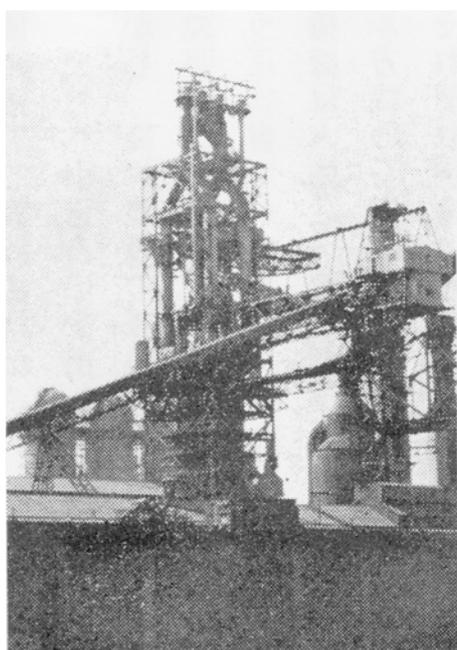


図1 第3高炉捲揚コンベアーと原料捲揚系統図

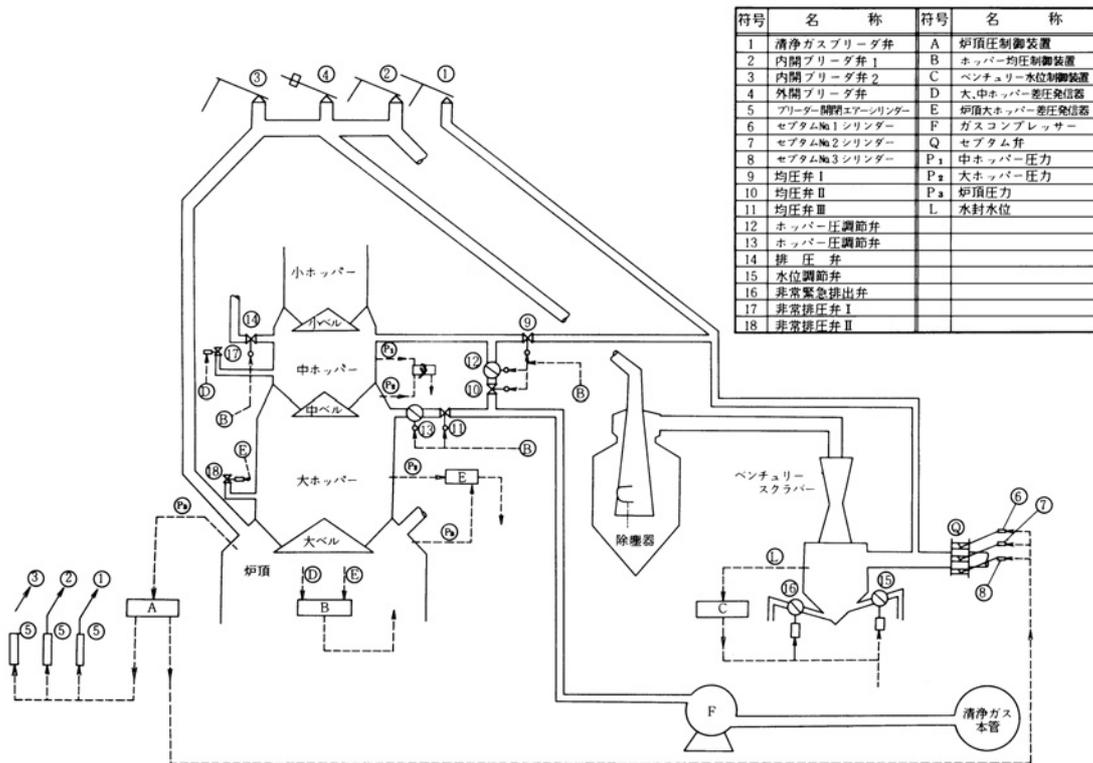


図2 第3高炉高圧制御系統図

落するような金属音がする。しかも高炉の一番高い場所で音が発生するので、住民からの苦情が出るのが予想される。また、燃料として使える高炉ガスを大気に放出する損失やブリーダ弁の損傷を考えれば、セプタム弁全てを一斉に全開にして炉頂圧力を下げた方が効果的であると考えた。これを「非常全開」と名付けて、セプタム弁を急速全開する装置を考え出した。この特許は公害対策にも威力を発揮し、日本で高圧操業が継続出来ることに貢献したはずである。図2に高圧制御系統図を記した。

3.4 均・排圧弁とベル開閉

炉頂が3ベル、即ち2室式であるだけに、2ベルの1室式よりも均・排圧操作が複雑となるが、これはジョンモア&サンズのオリジナルに従った。小ベルが健全な場合のノーマルシーケンスと小ベルが傷んだ時に、1室式の2ベルタイプと同様に使う、スペシャルシーケンスの2通りがあった。図3にそれを示した。高圧操業において装入物を炉内に装入するためには、各ベル間の圧力を制御しなければならない。図3で明らかなように、均・排圧弁を開閉して行う。弁には米国デズリック社製のエキセントリックバルブを推薦されて取り付けしたが、ガスカッティングによりボディーに孔があき、以後国産品で対処した。

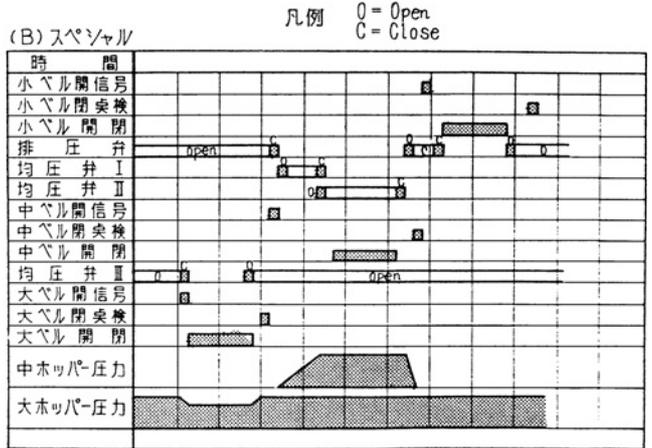
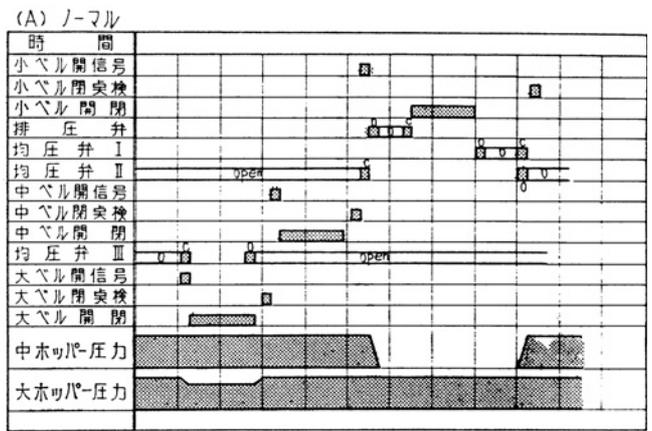


図3 第3高炉炉頂均排圧関係シーケンス

炉頂圧が急に低下した時、ホッパー内の圧力の方が高くなって、ベルが開くことを防ぐためにベル間の差圧制御を装備した。ジョンモアー&サンズのオリジナルには組み込まれていなかったため、これも特許をとった。

3.5 熱風炉の容量アップとシール対策

出鉄量増加即ち、送風量の増加に見合う熱風炉の容量アップ、即ち蓄熱室の加熱面積の増加と、そのレンガ重量の増量が必要だった。そのため熱風炉の高さを鉄皮1枚分約3m高くし、我々の設計した図4のような多孔式ギッターレンガに積み替えた。鉄皮の構成が全てリベット構造なので、そのシール対策が問題となった。元々の材料が溶接による強度に耐えない品質であったため、強度はリベットでもたせ、リベット部分を図5のようなカバーで覆ってシールするようにした。もちろんカバーそのものは鉄皮に溶接した。

米国の各メーカーとも、熱風炉にアンカーボルトが必要であると強調していたが、室蘭ではアンカーボルトの設置が出来ない。リベット構造の底板のシールと底部の強度を上げるため、従来の底板の上にIビームを並べて強度梁とし、その上に新しい底板を敷く、言わば二重底構造とした。アンカーボルトのない世界初の高压高炉の熱風炉となった。

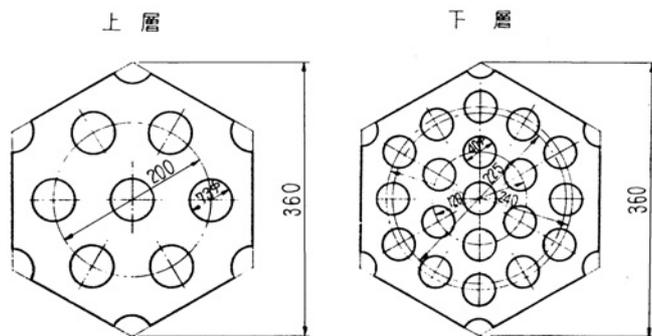


図4 第3高炉熱風炉ギッターレンガ

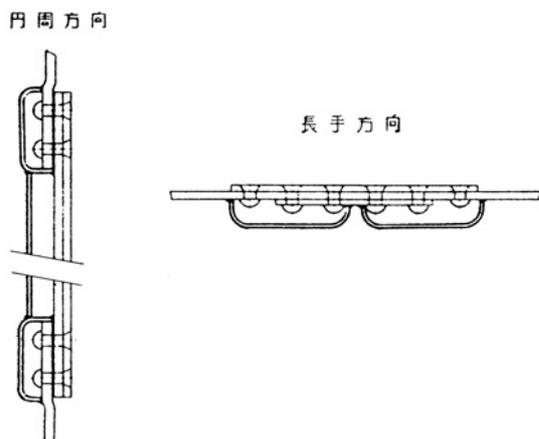


図5 第3高炉熱風炉漏風防止カバー

3.6 ガス洗浄機

炉頂圧が高く、ガス本管までの圧力差を圧損として使えるので、ベンチュリースクラバーを使うことにした。ただ生産量の変動に対応出来るアジャスタブルスロートのベンチュリーとコットレルを組み合わせた。火入れ後、ベンチュリースクラバーは順調であったので、後の第2高炉の高压化改修工事(昭和40年1月火入れ)では、2段ベンチュリースクラバー方式とした。1段目は固定スロートとし、2段目をアジャスタブルスロートと、簡素化してコットレルは設置しなかった。

3.7 捲揚制御

コンベヤー上の原料の位置を検出し、記憶させて、その位置によって操作信号を発信して、プログラムを進行させなければ、シュート閉塞やベルとホッパーでの装入物の噛み込みが生ずることになる。この対策として、磁気ドラム方式を採用し、コンベヤーのテールプーリーにドラム書き込み用シンクロ発振器を取り付け、各コンベヤー上の原料の位置を磁気ドラムに記憶させた。

大・中・小ベル、多数の均・排圧弁の開閉と、その点検確認の信号を入れながら、各操作を重ねられるものは重ねて、1チャージ6分のサイクルを組み立てることが出来た。このタイムスケジュールを図6に示す。

3.8 冷却盤のロック装置

米国の各メーカーの説明では、冷却盤に必ずロック装置を付けることになっていた。しかし米国の高炉の実態は、冷却盤の炉内脱落防止装置にしかっていない。

炉体レンガの膨張と鉄皮の膨張を考慮していないためであ

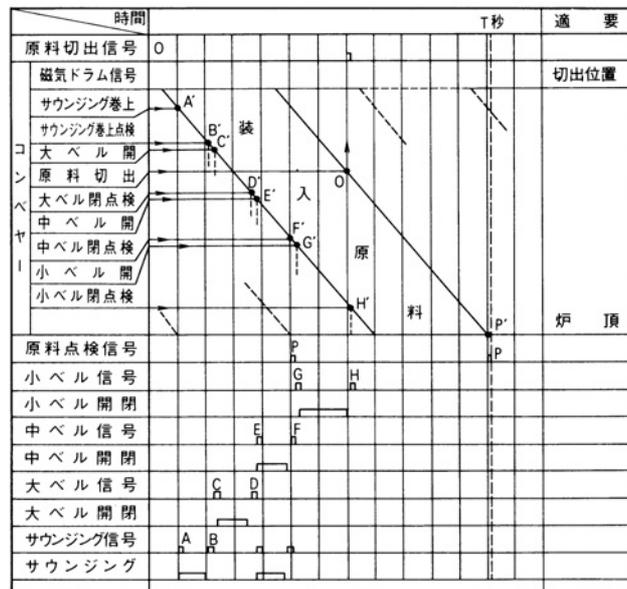


図6 第3高炉原料装入タイムスケジュール

る。室蘭ではスライド方式で、かつシール性の良い構造とした。後年、ソ連のステーブが導入されたので冷却盤の問題はなくなった。昭和44年(1969年)火入れの第4高炉はステーブ冷却である。

3.9 羽口本数

内容積1200m³前後、炉床径7.5~7.6mの高炉では、多くても羽口は16本であったが、高圧操業の目的である増産のため18本とした。多目の羽口本数が羽口前のレースウェイのためにも良かった。

4 高圧操業

米国では6.9KPa(1PSI)当り、1%の増産になるが、燃料比は下がらないと言われていた。しかし日本では緩風操業(Slack Blowing)で燃料比は下がると考えていた。増産する必要がない場合に、風量を増加させないで、高圧操業にすれば緩風操業になり、燃料比は下がるはずである。また燃料比を抑えながら増産しようと思えば、炉頂圧をもっと上げれば良いことになる。これをわかりやすく説明するためには、高炉炉内のGas Velocityという概念を入れれば良い。

何回となく高圧操業のテストを行って²⁾、風量、出銹量、燃料比、炉頂圧の関係図を作成した^{3,4)}(図7)。このテストで特記しておきたいのは、高圧操業によって出銹比

「 $2.0T/D \cdot m^3$ 」を超えることが出来たことである。図8に操業データの推移を記した。

Gas Velocityの概念から分かることであるが、高炉が大型化すれば、更に高い炉頂圧が必要となる。米国ではこれに気が付いていない。従って日本の初期の高圧高炉は内容積とは関係がなく、一律に6.9KPa(10PSI)の炉頂圧であった。室蘭では、炉頂圧を高くした場合のGas Velocityの測定と、炉内ガス分布の改善を調べるため、Rn²²²(放射線同位元素ラドン)を羽口から打ち込んだ。その結果は予想した通り、高圧操業によって炉内ガス分布が改善されていることが証明出来た。以上のことをまとめて、昭和39年(1964年)に米国で発表したところ³⁾、米国では気付かなかった高圧操業のメリットを見直すべきだということからか、1965年に米国鉄鋼協会(AISE)のKelly賞第1位を贈ってくれた。

5 あとがき

米国では、ガスシール対策が不十分であったため、炉頂圧を維持することが困難であった。我々は最初から3ベル(2室式)を採用したこと、更に「バルブシール」型炉頂装置を開発したので、日本では大型高炉でも、それに見合った高い炉頂圧を維持出来た。その後、ソ連からステーブクーリングも導入され、炉体構造上からも高圧操業が容易になった。

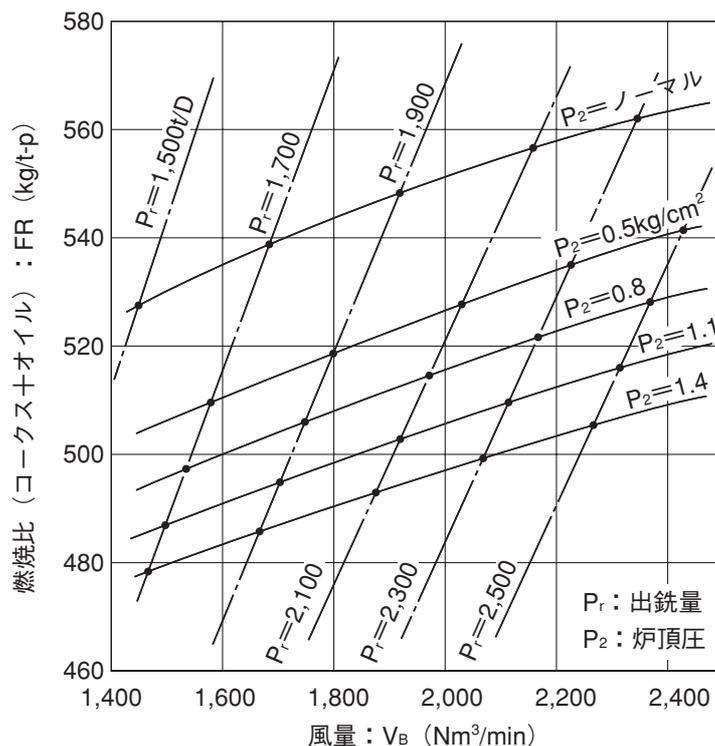


図7 出銹量と燃料比と炉頂圧との関係

