

© 1985 ISIJ

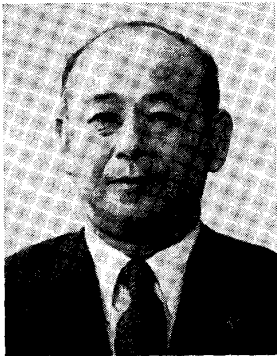
# 特殊鋼線材用熱処理炉の開発



江口 勇\*

## Development of Wire Coil Annealing Furnace for Speciality Steel

Isamu EGUCHI



### 1. ま え が き

今回、私どもがたずさわってきました工業炉におけるささやかな成果に対しまして、栄えある「浅田賞」をいただき、身に余る光栄と感謝いたしております。

我が国の鉄鋼技術が戦後著しく進歩、改良され、今や世界のトップに立っていることは誰も疑いの無いところである。これは他の大部分の工業技術と同様、欧米からの導入技術の恩恵に大いにあずかっていることも事実であろう。しかしこの長い技術改善の道筋の中では、日本人の優れた頭脳とたゆまざる努力に負うところがたいへん大きかったことも間違いない。装置産業である鉄鋼業界では、ユーザーとメーカーの協調が非常にうまくいき、生産の各工程の中でソフトとハードが互いに相互に補完し合って進歩してきたか、その話題には枚挙にいとまがないほどである。われわれは元来特殊鋼メーカーであり、生産設備のユーザーであるが、また同時に工業炉を中心とする設備メーカーという特殊な立場にあり、ユーザーとメーカーが共存することによる大きなメリットを日頃享受している。そのメリットを生かして、従来あまり脚光をあびたことの少ない、鉄鋼二次加工分野の一つである特殊鋼線材の熱処理炉を例に、戦後の進歩の過程で生じたニーズと、それに対する対応を幾つかの視点からお話ししたい。

### 2. 炉形式の変遷

我が国の特殊鋼線材の生産高は、図1に示すように、

昭和40年27万tから昭和58年270万tへと、約10倍の伸びを示している。この特殊鋼線材は、図2に示すように、熱間圧延から最終製品に至る工程の中で各種熱処理を必要としている。このような生産量の伸びと、ユーザーの品質向上の要求に対応してきた我が国の特殊鋼線材用熱処理炉の炉形式の変遷を以下述べたい。

#### 2.1 バッチ炉から連続炉へ

昭和30年代中頃までは、線材の生産量もロットの単位も甚だ小さく、必要に応じてバッチ処理すれば十分需

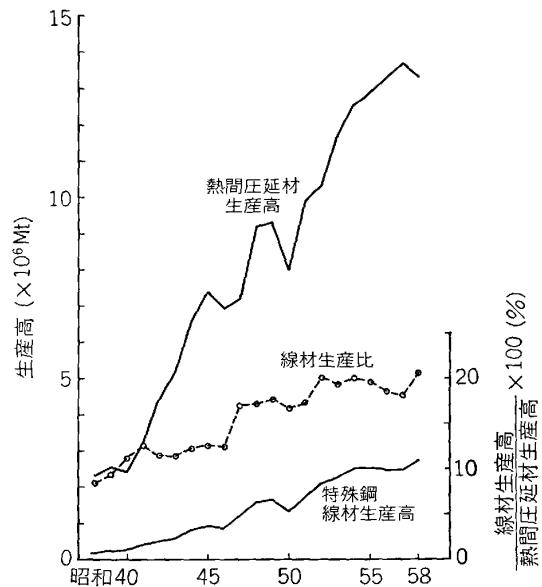


図1 特殊鋼線材生産高推移

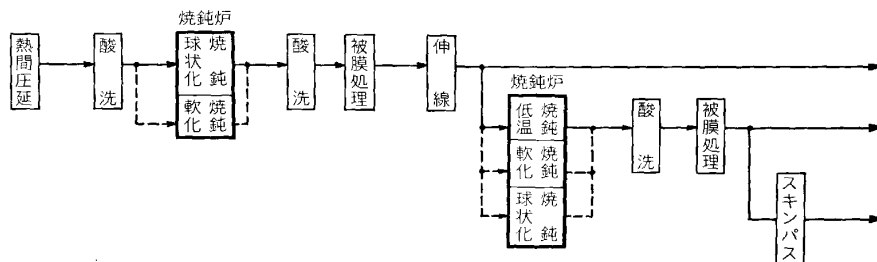


図2 特殊鋼線材の加工プロセス(例)

昭和59年10月本会講演大会における浅田賞受賞記念特別講演  
昭和59年11月26日受付 (Received Nov. 26, 1984)

\* 大同特殊鋼(株)専務取締役 (Daido Steel Co., Ltd., 1-2-5 Mutsuno Atsuta-ku Nagoya 456)

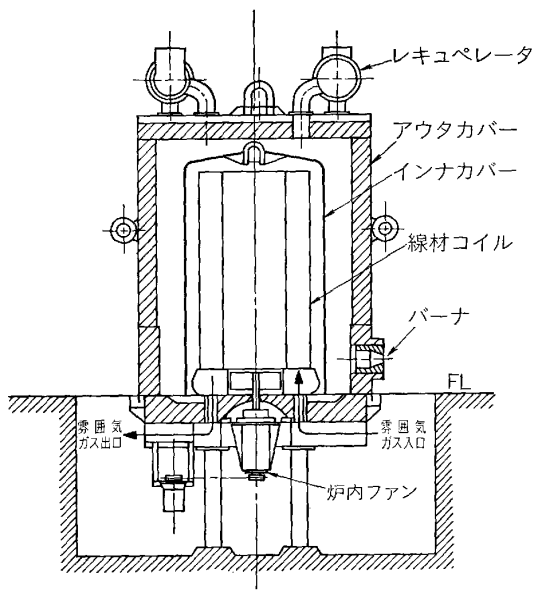


図 3 ベル形焼鈍炉

要に対処できた。当時主流であった図 3 に示すベル形炉は、今でも 100~150 t/月程度の小ロットを、小廻りをきかして処理できるという点で使用されているが、操作も面倒な上に、燃費も今ひとつ魅力に欠ける点がある。

昭和 30 年代後半から、家電品の普及、所得倍増論などによつて我が国の経済が急成長し、線材需要が増加に転じただけでなく、ロット単位も次第に大きくなり、連続処理の要望が台頭してきた。この頃は、工業炉の技術は欧米から導入されたばかりで、いまだ十分消化されておらず、無酸化雰囲気を維持しながら、連続的に線材コイルを熱処理する技術の確立には不安があつた。それでも、一応鍛造部品の調質等に使用されていたトレー・プッシュ形炉が連続炉の対象として検討されたようである。ところがこの種の炉では、重いトレーを使用するの

で熱経済性が悪いのみならず、炉長が長くなるとトレーのバックリングが生じるため、高々 700 t/月程度の炉が限界であつた。更に大型化するためには、全く別の構造を検討する必要があつた。

2.2 ローラーハース形連続焼鈍炉の開発と普及

昭和 40 年代にはいり、自動車の量産が本格化するに従つて、大型化の要請はますます強くなると同時に、熱処理材の品質、例えば脱浸炭層の深さ、球状化率などの条件が厳しくなつてきた。その頃既にわれわれは、後述の雰囲気制御技術を確立していたので、社内の二次加工部門と共同で新しい構想の連続熱処理炉の基本設計に入つた。その目標は 1000 t/月以上の生産能力で、加熱、均熱、冷却の工程でそれぞれ適切な雰囲気が維持され、球状化焼鈍が可能という条件で、欧米からの導入技術の上になれわれ独自のアイディアを加えて、ローラーハース形連続焼鈍炉の開発に成功したのが昭和 42 年であつた。

図 4 に示すローラーハース形連続焼鈍炉は、被熱物の出入に際し、炉内雰囲気ガスと外気が直接接触して汚染されたり、爆発するのを防止するため、前後に扉を持つ前・後室を設けてパージ機能を持たせているが、更に炉本体前後部にスロート部を設けて、雰囲気ガスの汚染防止を強化している。被熱物の線材コイルは簡単なライダーに載せ、自転するハースローラで送られ、前・後室の出入りは外気侵入防止のため迅速に搬送するのに対し、炉内の運行は温度制御との組み合わせで各種の鋼種、サイズに適合するヒートパターンを造るよう搬送速度を選ぶことができる。加熱は燃焼方式であり、炉内雰囲気をクリーンに保持するようラジアント・チューブによる間接加熱を採用している。多数のラジアント・チューブは、各種のヒートパターンが実現できるように、炉内に隔壁を設けて少なくとも 7 ゾーン以上に分割されて制御されている。

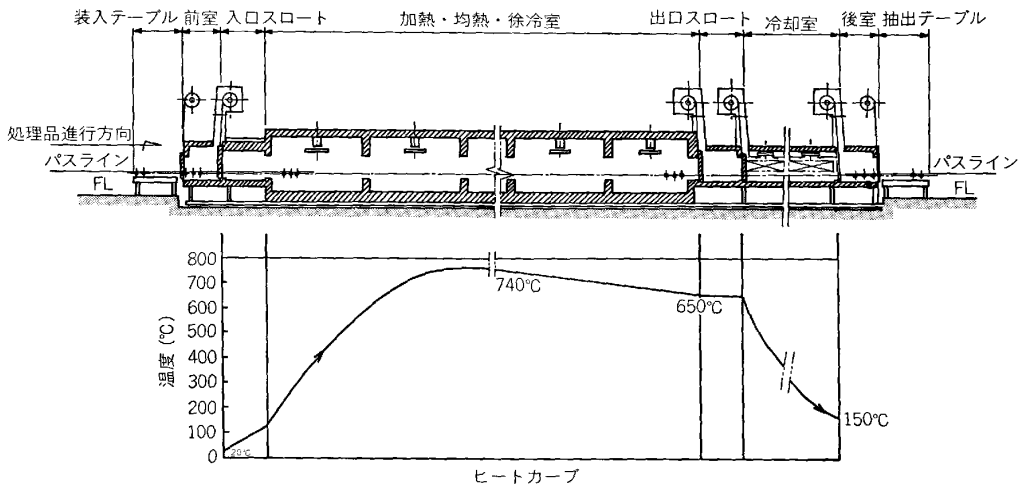


図 4 ローラーハース形線材連続焼鈍炉及びヒートカーブの一例

炉内雰囲気は吸熱形のRXガスと、発熱形のNXガスを精製して各ゾーンへ常時送気し、無酸化状態に保持される。更に被熱物自身から加熱によつて放出される汚染物質を排除して、常に脱浸炭を最小限に維持するために、炉内ガスを適当な個所で測定して、それぞれのガスの送気量を調整する機能も持っている。

その後、省エネルギー、自動化等の要望により、部分的な改良は行われたが、今日でも線材の連続焼鈍炉の基本形式は、このローラーハース形である。

2.3 多様化への対応

その後の高度成長期には、このローラーハース形連続焼鈍炉は順次大型化し、能力4500t/月の炉もでき、量産メリットを大いに発揮したが、オイル・ショックに続く安定成長が世界の工業国の基調になるに及び、大量生産の追求から多様化の時代への転換が進み、少量多品種に適した熱処理炉の出現が要求されるようになってきた。オイル・ショック後の省エネルギーに対する強い要求、あるいは経済規模の拡大に伴う総量の増加もあつて、従来のベル形炉のようなバッチ炉ではあまりにも煩雑すぎるきらいがあり、ローラーハース形の特長を生かした半連続熱処理炉の開発が要望されるようになってきた。

この要望に対応して開発されたのが、図5に示すSTC炉である。本炉は生産性を高めるため、熱処理のサイクルタイムをできるだけ短縮する工夫を加えたので、Short Time Cycle 炉；STC 炉と名付けられ、ちょうど軽薄短小化の時代にマッチして、極短時間に線材二次加工業界に普及した。熱処理工程中の無駄時間をできるだけ無くするため、搬送をローラーハース式とし、水平送りによつて被熱物が迅速に出し入れされ、それに伴つて炉の熱放散もベル形炉に比べてはるかに小さく、しかも1基当たり1000t/月までの生産能力をもっており、ベル形炉の5~6基分に相当するものである。中規模生産に見合う設備投資額に抑えるため、炉の基本構成は加熱室と冷却室のみとした。加熱室で被熱物の加熱・均熱をバッチ処理するため、ハースローラは常に正逆にオシレーションをしながら、ローラの熱変形を避けるように工夫されている。またバッチ形炉の欠点である温度分布の悪化を防ぐ対策として、炉内攪拌扇を強化して均熱時で±5°C以下の実体温度分布を実現している。このような半連続炉で多品種の処理を行う場合、とかく作業者の数が多くなるきらいがある。この人件費負担を削減するために、STC炉は専用のプロセス・コンピュータにより、無人運転を実現させた。図6にSTC炉の基本制御パターン

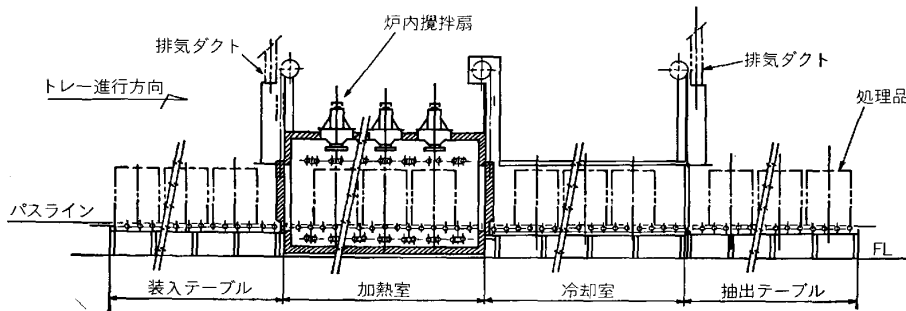


図5 STC 炉 (Short Time Cycle 炉)

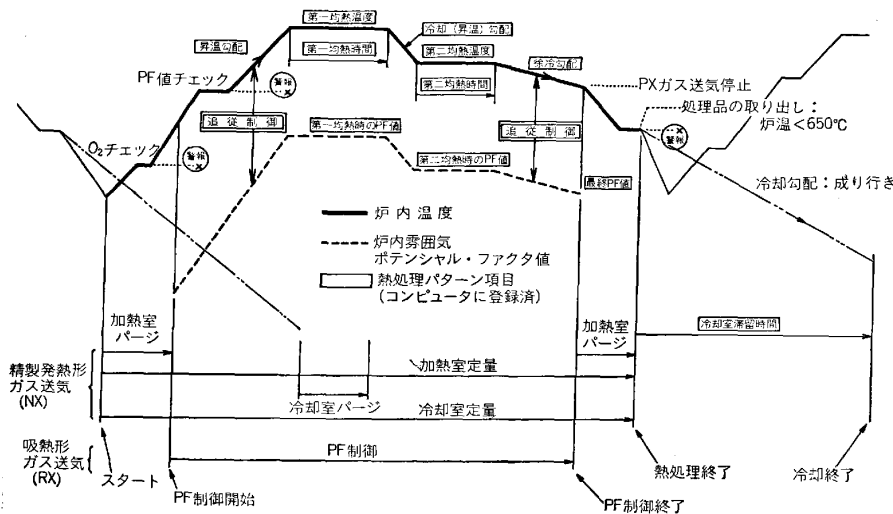


図6 STC 炉の基本制御パターン

ーンの一例を示すが、図の縦軸は炉内温度(太い実線)及び炉内雰囲気のパテンシャル・ファクタ値(太い点線、PF 値)を示し、横軸は時間である。図中の□内に示す項目(11項目)は、処理材の鋼種と熱処理目的で決まる項目、すなわち熱処理ソフトであり、約 50 組の熱処理ソフトがあらかじめコンピュータにインプットされている。炉の操炉者は、必要な熱処理パターン番号を指定し、スタート押ボタンを押すのみで、以降の炉内温度、雰囲気制御および材料の搬送(図示せず)等はすべて無人で実行される。更に次の熱処理の予約を行うことも可能である。

以上のように、線材焼鈍炉も時代の要請と共に変化発展してきたが、今日使用されているものをまとめて比較すると表1のようなになる。炉形式の選択は、図7に示すように、月産能力とか受注量、ロット単位などから判断できる。

3. 省エネルギー対策

昭和 48 年秋のオイル・ショックはエネルギーの急騰

を招き、工業炉の最大の技術問題は省エネルギーに集中した。エネルギー多消費型の鉄鋼業界は、全工程で省エネルギー運動を強力に展開し、結果的には前よりも国際競争力が強化されることになった。

ローラーハース形線材連続焼鈍炉の燃料原単位が、時代と共にいかに改善されてきたかを図8に示す。このような改善に成功した原因の一つは、われわれが昭和40年代に既に欧米からの導入技術を十分消化し、オイル・ショックと共に自前の技術でこれに対応できたことであろう。またもう一つの原因としては、簡単に試作実験が難しい大型の工業炉の建設が連続してあり、新しい試みの成果が、直ちに次の機会に生かされるという継続的経験を持つことができたことであり、更に我が国の業界が省エネルギー早期実現のため、積極的な設備投資で対処したことだと思ふ。

以下に、われわれが開発した省エネルギー対策の一部を、公害対策も含めて紹介したい。

3.1 押込通風形省エネルギーバーナー

ラジアント・チューブを加熱する方法には、図9に示

表 1 線材用焼鈍炉の機種別特性

項目	ベル形炉	STC炉	ローラハース炉	
			従来形	熱回収形
熱効率	24.6%	47.3%	52.2%	92.1%
燃料原単位 (灯油換算)	58 l/t	33 l/t	30 l/t	17 l/t
操炉者	200t/月・人	1600t/月・人	500~800t/月・人	

機種	熱処理量	月間生産量 (t/月)				
		500	1000	1500	2000	2500
ベル形焼鈍炉 (1~5t単位で熱処理) 多品種少量熱処理向	3t/ch	□ 100				
	5t/ch	□ 150				
ローラハース形 S T C 焼鈍炉 (4~20t単位で熱処理) 多品種少量熱処理向	8t/ch	▬ 350				
	12t/ch	▬ 500				
	16t/ch	▬ 700				
	20t/ch	▬ 900				
ローラハース形 連続焼鈍炉 (20t単位以上で熱処理) 多量熱処理向	ストレート スルー式	1600t/月以上 ▬				
	熱回収式	2000t/月以上 ▬				

図 7 熱処理量と経済的な機種について

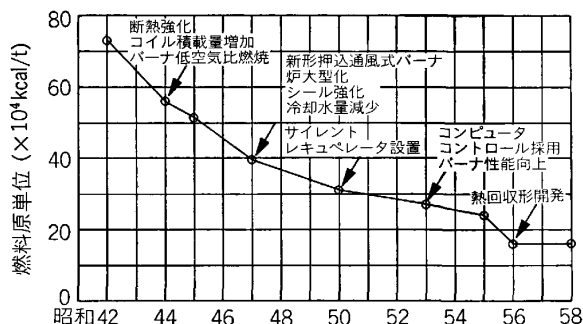


図 8 ローラーハース形線材連続焼鈍炉の原単位推移

らかに押し込み式が優れているが、押し込み式は燃焼フレームが短炎となるので、局部加熱によるラジアント・チューブの寿命が短くなると同時に、温度分布も悪く、しかも NO<sub>x</sub> が高くなるなどの欠点がある。この欠点は図 10 のように、燃焼排ガスを再循環させて、フレームを長くすることにより解決した。図 11 に NO<sub>x</sub> の改善例を示す。

3.2 燃焼排熱回収と騒音対策

ラジアント・チューブ燃焼における大きな問題点として、焼燃音による騒音問題がある。図 12 (a) は、ラジアント・チューブの排気口に設置した消音器付レキュペ

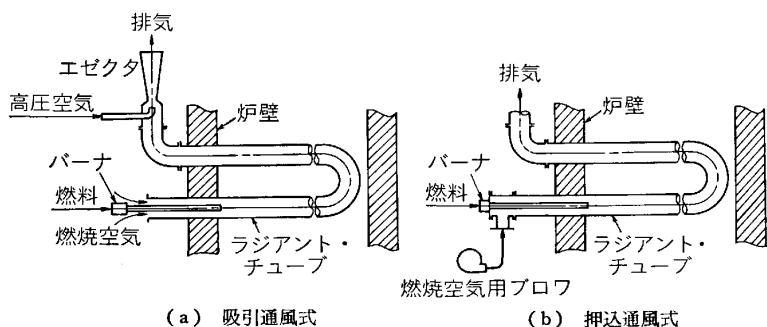


図 9 ラジアント・チューブによる加熱方式

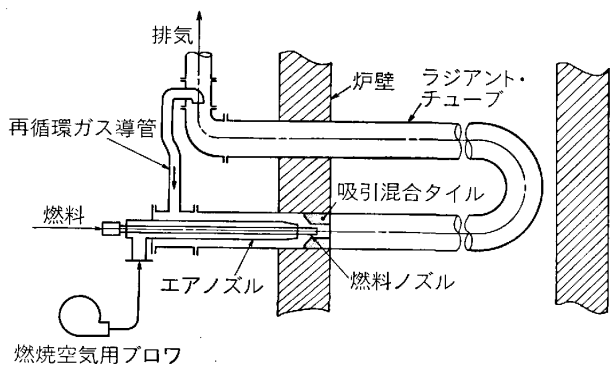


図 10 低 NO<sub>x</sub> 押し通風式バーナ

表 2 バーナ送風方式による性能比較

	吸引送風式	押し送風式
空気比	1.3~1.4	1.05~1.1
燃焼制御	High-Low-Off (または連続制御)	連続制御 (PI, PID)
ターンダウン	— (1:3)	1:5
燃焼効率(例) 炉温 800℃ 排ガス 900℃	53%	63%
その他	バーナ停止時に P.T. 内に冷風が入り、チューブを冷却 → 熱損失	左記問題なし

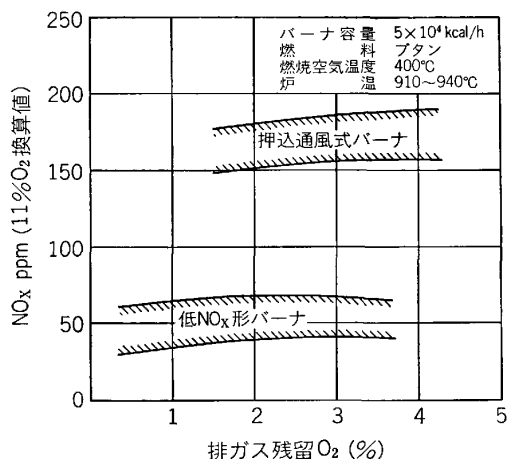
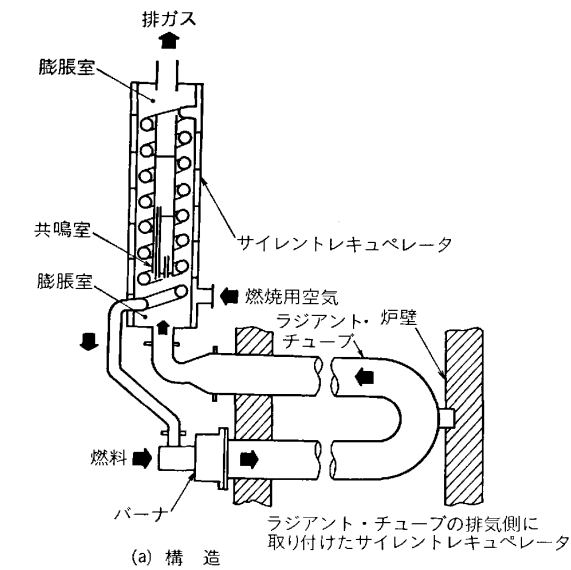


図 11 NO<sub>x</sub> 性能比較例

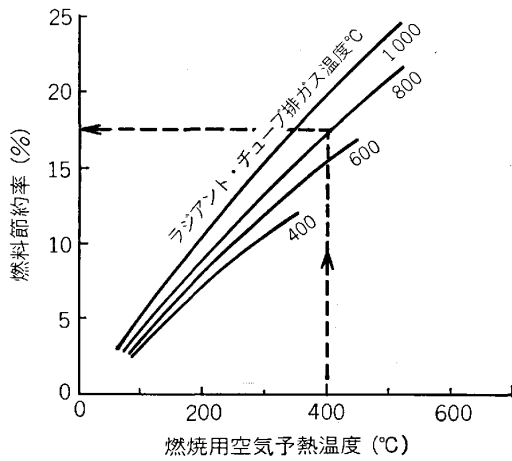
すように吸引通風式と押し通風式の二つがあり、これを比較すると表 2 のようになる。燃焼効率や制御性では明

レータ (サイレント・レキュペレータ) の構造を示す。本装置は (b) 図に示すように、ラジアント・チューブの排ガス温度が 800℃ の場合に、燃焼空気予熱温度が 400℃ となり、約 17% の燃料節約が得られる。更に (c) 図にはサイレント・レキュペレータ有無による燃焼音の音圧レベルの周波数特性を示したが、総合的には約 32 dB の消音効果が得られている。本サイレント・レキュペレータは、広く業界に普及した。

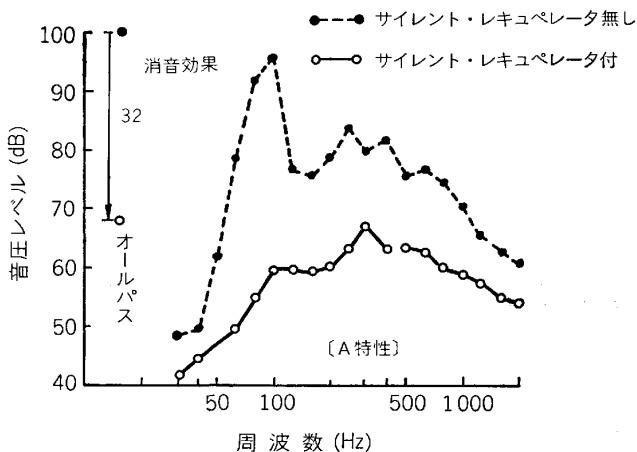
図 13 に示すのは、われわれが開発した通気性伝熱変換体 (大同パーム) を組み込んで省エネルギー効果を高め、かつラジアント・チューブ排気口付近のチューブ温度の降下を改善した例である。通気性伝熱変換体は、ガスの保有する熱を効果的に固体放射に変換する機能を持っているため、ラジアント・チューブ排気口のチューブ温度を平均 50~70℃ 上昇させることにより、炉内への



(a) 構造



(b) 燃焼用空気予熱温度と燃料節約率

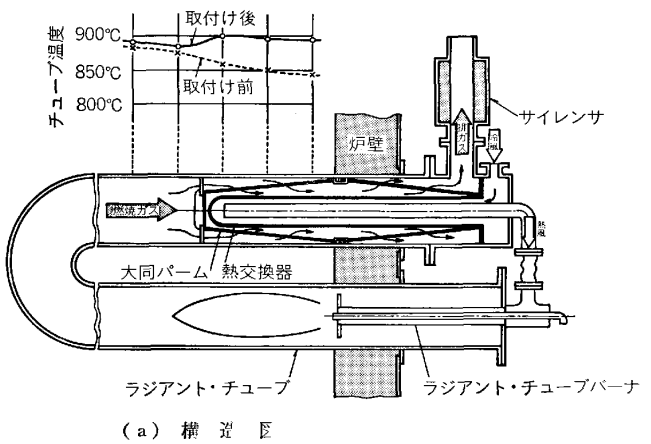


(c) サイレントレキュペレータの消音データ

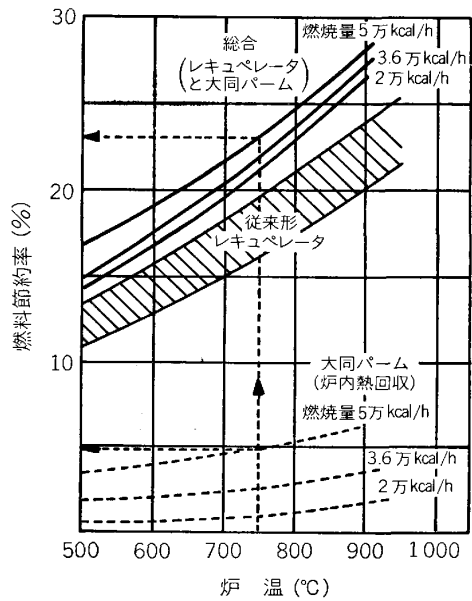
図12 サイレント・レキュペレータ

投入熱量を増加させると共に、熱交換器への伝熱量を増加させる。(b)図には熱交換面積が同じ従来形レキュペレータと大同パーム付レキュペレータの燃料節約率を対比して示した。

●取付け図及びチューブ温度測定例



(a) 横断面



(b) 燃料節約率

図13 ラジアント・チューブ内装用レキュペレータ

### 3.3 被熱物保有熱の回収

熱処理炉の省エネルギーとしては、熱処理済の被熱物が持っている多量の熱を回収することが残されていた。図14は装入材と処理済材との熱交換を行うために、炉を二つ折りにして、炉の入口と出口を連結した方式を示している。この方式(熱回収式)の採用で、表3のようにこの種の炉の熱効率は、52%から92%へと大きく飛躍した。

### 4. 炉内雰囲気について

線材焼鈍炉の雰囲気制御は、その品質に直結するだけでなく、焼鈍前後の酸洗工程とも関連があり、従って製造コストにも大きく影響を与えるので、たいへん重要である。まず基本的には、熱処理中に脱浸炭を起こさないように、雰囲気ガスとしてはRXとNXを混合して使用するか、あるいは簡単な場合にはRXガスのみを使用する。

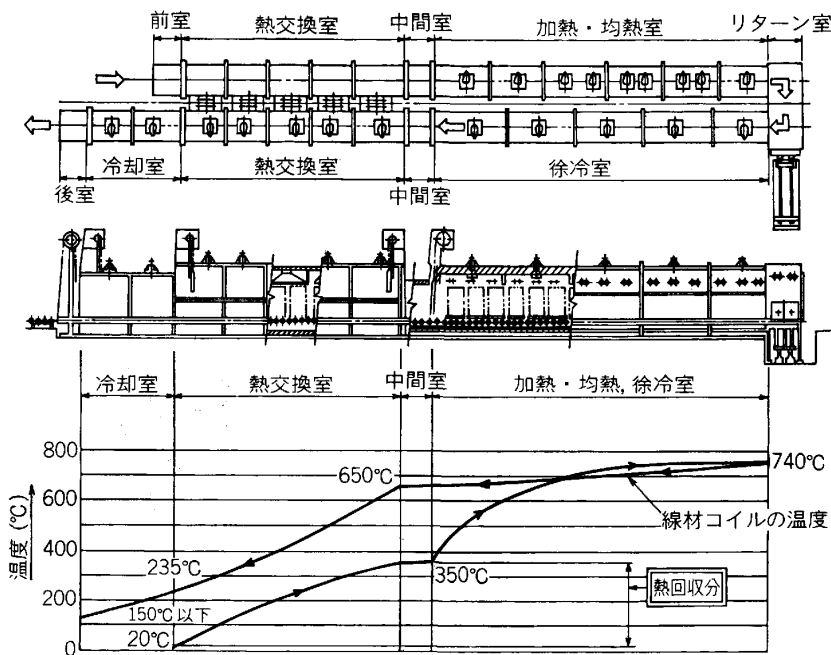


図14 熱回収形ローラース式連続焼鈍炉全体概略図と熱処理曲線例

表 3 熱回収形と従来形ローラース式焼鈍炉の原単位比較

項目	従来形	熱回収形	効果
熱効率	52.2%	92.1%	40% up
燃料原単位 (灯油換算)	30l/t	17l/t	43% 節減
操炉者	2名/直	1名/直	1名/直 省力

以下に、雰囲気ガスの制御法及び最近の改良技術の一部について簡単に述べる。

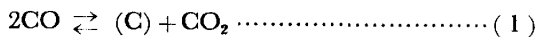
4.1 雰囲気ガスの制御法

炉の操業過程では、鋼種及び熱処理条件に合わせた雰囲気ガスを送気しても、外気の侵入、被熱物からの汚染物質の放出などにより、炉内雰囲気ガスの組成が乱れるので、常時適正值に制御する必要がある。

代表的な雰囲気ガスの制御法には、次の二方式がある。

(1) PF (ポテンシャル・ファクタ) 法

炉内雰囲気ガスの状態を示す式の一つとして、次に示すブルドア反応がある。



(1)式より、平衡炭素濃度 ( $C_e$ ) を計算し整理すると、  
 $C_e = K(T) \cdot P_f \dots\dots\dots (2)$

ただし、 $K(T)$  : 温度  $T$  における鋼種固有の定数

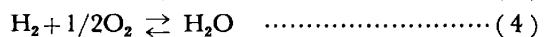
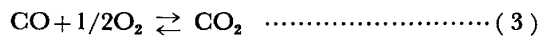
$P_f = CO^2/CO_2$  : カーボン・ポテンシャル・ファクタ

炉内雰囲気ガスを、所望の平衡炭素濃度にするためには、(2)式の  $P_f$ 、すなわち  $CO^2/CO_2$  を制御すればよい。

本制御法は、昭和 42 年にわれわれが開発したもので、 $P_f$  法と称し熱処理品質の向上要求と、赤外線ガス分析計の発達があいまつて、広く世に普及している。 $P_f$  法の特長は、雰囲気ガスの種類を問わず、例えば RX ガスと NX ガスの混合ガスの場合でも、精度よく制御が行えることにある。

(2)  $O_2$  法

$O_2$  法は、 $P_f$  法で述べたブルドア反応に加えて、次に示す水性ガス反応に着目した制御法である。



(1)式と(3)式より、同様に平衡炭素濃度 ( $C_e$ ) を計

算し整理すると、

$$C_e = K'(T) \cdot CO/O_2^{1/2} \dots\dots\dots (5)$$

ただし、 $K'(T)$  : 温度  $T$  における鋼種固有の定数 ((2)式の  $K(T)$  とは異なる)

(5)式より、例えば RX ガスを単独に使用する場合

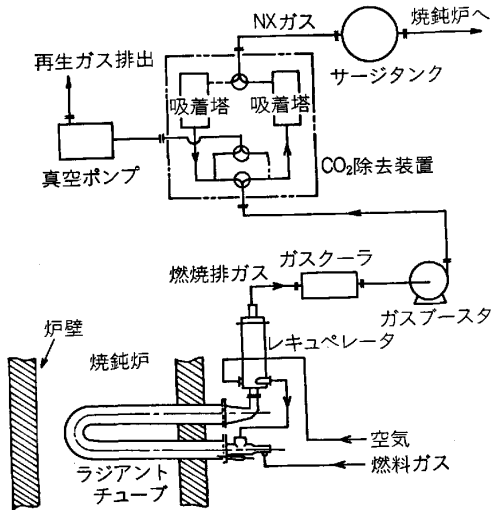


図15 燃焼排ガス精製形 NX ガス発生装置

表 4 雰囲気ガスのランニングコスト比較例

	従来タイプ 70 Nm <sup>3</sup> /h	排ガス利用 70 Nm <sup>3</sup> /h
ブタンガス 100 円/kg	8.9 kg/h 890 円/h	—
冷却水 20 円/m <sup>3</sup>	9.68 m <sup>3</sup> /h 194 円/h	2.18 m <sup>3</sup> /h 44 円/h
電気 25 円/kWh	25.7 kWh/h 643 円/h	25.7 kWh/h 643 円/h
合計	1727 円/h	687 円/h
単価	24.7 円/Nm <sup>3</sup>	9.8 円/Nm <sup>3</sup>

のように、CO 濃度が既知であれば、炉内酸素を O<sub>2</sub> センサーによつて測定・制御することにより、炉内を所望の平衡炭素濃度に制御することができる。

4.2 雰囲気ガス発生装置の省エネルギー例

過去 30 年以上にわたつて、雰囲気ガスの製造は熱処理炉と別置の吸熱形 (RX ガス) と発熱形 (NX ガス) ガス発生装置が多用されてきた。いずれのガス発生装置も、原料ガスを 1000°C を越える高温域で分解した後、いつたん冷却してから熱処理炉に供給しているの、高温生成ガスの持つ保有熱の有効利用が種々試みられてい

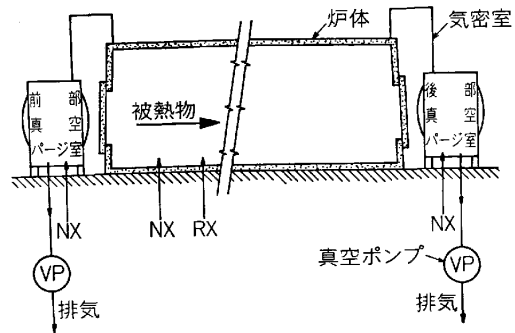


図16 雰囲気ガスの真空パージ法

表 5 真空パージ法による雰囲気ガス使用量の比較 (例)

		パージ室 m <sup>3</sup> N/h	炉体 m <sup>3</sup> N/h	計 m <sup>3</sup> N/h	備考
従来方式	NX ガス量	55	128	181	100%
	RX ガス量		84	84	100%
真空パージ方式	NX ガス量	24	63	87	48%
	RX ガス量		42	42	50%

コイル線径: φ 3mm  
炉能力: 3000t/月

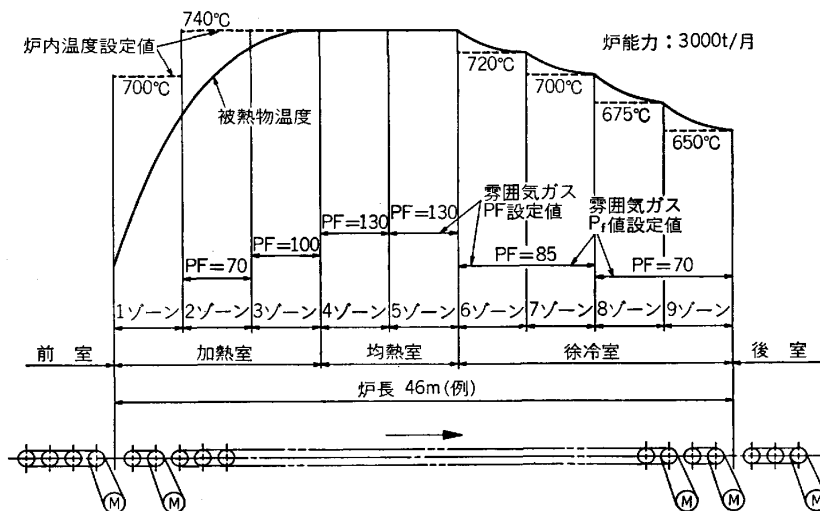


図17 ロールーハウス形線材連続焼鈍炉の基本制御パターン例



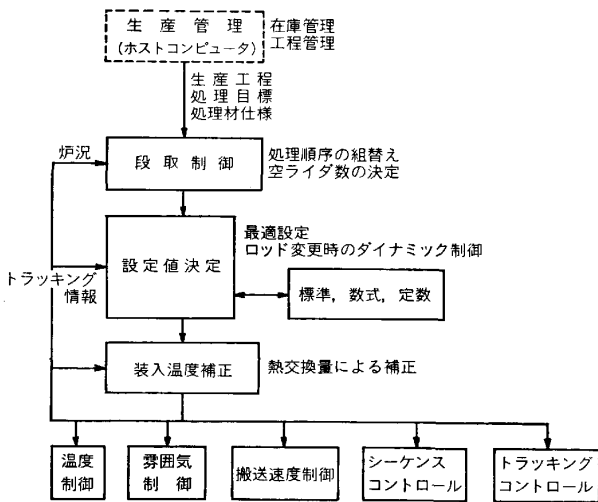


図18 ローラーハース式線材連続焼鈍炉のコンピュータ・コントロール系統図

る。

NX ガスでは、雰囲気ガス発生装置を別に用意しないで、炉の燃焼排ガスを精製して炉に戻す方式が開発され、ガスコストを従来の半分に以下に節減している。図15に本方式の系統図を、また表4にランニングコストの比較例を示す。

#### 4.3 雰囲気ガス真空パージ法

雰囲気ガスを使用した連続炉では、被熱物の出入りのたびに、炉の前・後室を多量の雰囲気ガスでパージする必要がある。この前・後室を図16に示すように真空室とし、汚染された雰囲気を一気に排出して、クリーンな

ガスを送り込めば、炉本体の雰囲気より安定化とあいまって、表5のように雰囲気ガスの使用量は50%に低減され、かつ処理品質の安定にも貢献するなどの利点がある。この真空パージ法は、連続炉のみならずバッチ式炉にも適用が可能で、今後普及するものと考えられる。

#### 5. 炉の自動制御について

代表的な線材の制御パターンをまとめてみると、図17のようになる。しかし、実用上は生産管理、処理材の仕様などにより制御ポイントが変わってくるので、最適制御を行うには、操業条件に応じて設定値を変更することが必要になる。図18にわれわれが現在実施しているローラーハース炉のコンピュータ・システムの一例を示す。これは、種々の情報を集めて最適制御設定値を自動演算できるシステムとなっており、ほとんど無人に近い状況で運転されるところまできている。

#### 6. む す び

以上特殊鋼線材用熱処理炉の歴史の変遷を中心に、われわれの開発成果の一端を紹介したが、これらの成果は日頃の鉄鋼二次加工業界関係者の厳しい要請にはげまされて達成されたことは言うまでもない。

我が国における鉄鋼業をとりまく環境は、今後いつそう厳しくなることが予想され、完全自動化、精緻化、より柔軟性のある設備等々が要請されると考える。われわれも不断の努力でこれに対応する所存であり、関係各位のご支援をお願いしたい。