

鉄鋼業における温度計測技術

田村 洋一*

Temperature Measurement in Iron and Steel Industry
Yoichi TAMURA

Key words : temperature measurement ; iron and steel industry ; radiation pyrometer ; emissivity ; temperature distribution ; high temperature.

1. はじめに

鉄鋼業においては高温で精錬・加工するプロセスが多く存在するため、温度を正確に計測し制御するための努力は古くから行われてきた。近年鉄鋼製造プロセスの高度化のひとつとしてオンライン熱処理の概念が導入されるに従って新しいニーズが生じている。現在は主に表面処理プロセスや連続焼鈍ラインでの非接触温度計測の技術開発が各社で行われている。

鉄鋼業における過去の開発状況を分類することにより現状の温度計測技術の必要性がほぼ判断できると考えられる。日本鉄鋼協会・共同研究会・計測制御部会における過去の報告をセンサ技術で分類すると図1のようになり¹⁾、温度計測に関する報告は全体の約13%を占め、重要な位置づけであることが数値であらわれている。またセンサ要素で分類すると図2のようになり¹⁾、実際に使用され技術開発について関心をもたれているのは、放射温度計と熱電温度計にほぼつきるといえる。

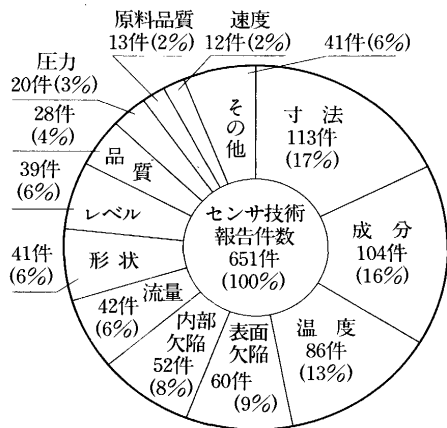


図1 鉄鋼業で使用されるセンサ技術分類¹⁾

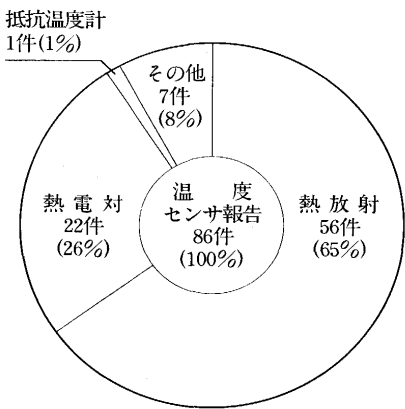


図2 鉄鋼業で使用される温度計測センサ¹⁾

また日本鉄鋼協会・研究委員会に設置されたセンサ技術調査研究小委員会の報告²⁾では、新しい温度計測技術への期待として次の4項目をあげている。

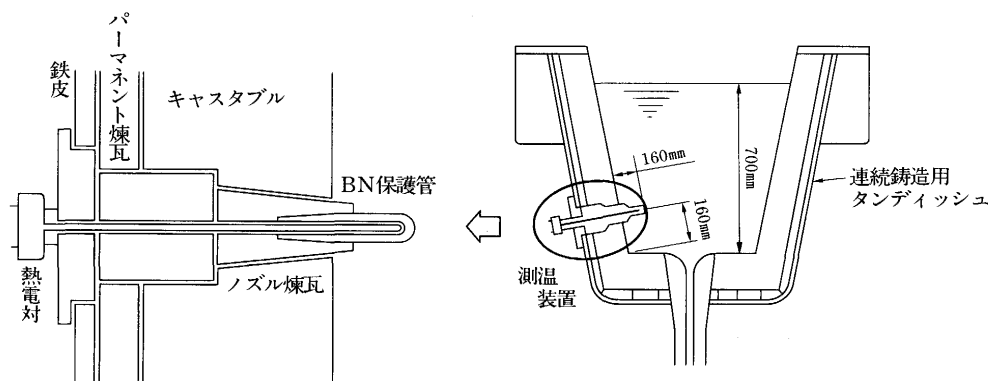
- (1) 溶鋼や炉内ガスの連続測温法の開発。
 - (2) 放射測温時に放射率の影響を受けずに測温できる方法の開発。
 - (3) 温度分布計測。特に電子走査型で常温付近の低温まで計測できる技術の開発。
 - (4) 固体の内部温度分布の直接計測法の開発。
- ここでは計測制御部会での報告を主体に上記の分類に従ってまとめるとともに、今後の課題を述べる。

2. 高温での連続測温技術

2・1 溶鋼の連続測温

溶鋼の連続測温は古くて新しい課題であり、過去にも多くの取り組みが成されてきた³⁾。連続鋳造でのタンディッシュの連続測温に関しても各種保護管に入れた熱電対を溶鋼

平成4年12月7日受付 平成5年4月9日受理 (Received on Dec. 7, 1992; Accepted on Apr. 9, 1993) (依頼解説)
* 住友金属工業(株)システムエンジニアリング事業本部専門部長 (System Engineering Division, Sumitomo Metal Industries, Ltd., 1-8 Fuso-cho Amagasaki 660)

図3 溶鋼温度の連続計測の例⁴⁾

面上部より挿入し計測する方法が各社で試みられてきた。技術的には解決の目処はたっているが、耐久性を考慮したコスト面で実用化するに至っていない。コストを低下するために保護管を小型化した測温技術の開発が行われている⁴⁾。図3に示すようにタンディッシュ側壁にボロン-ナイトライド (BN) 保護管を取り付け測温している。R熱電対を使用しているが、漏鋼対策と雰囲気ガスから熱電対を保護するためにアルミナ保護管を使用した二重保護管構造としている。取り付け場所は底部のスラグの侵食の影響を受けにくい所を選択している。肉厚7mmのBN保護管を使用して20~30時間の連続測温が可能と報告されている。保護管の突き出し長さが60mmで実施しているが側壁への伝熱のため数℃低めに指示すると考察している。

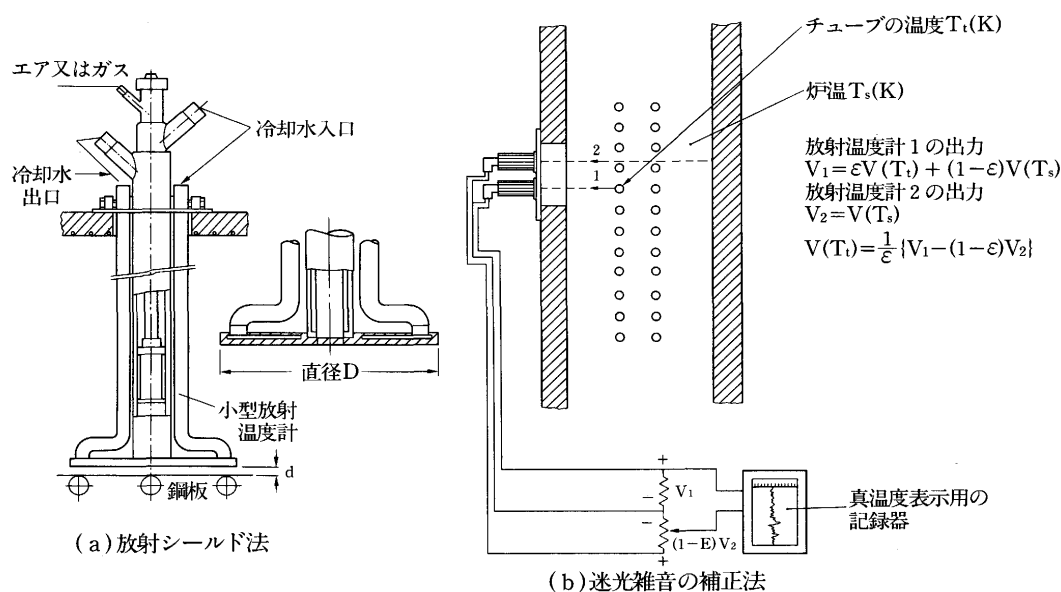
タングステン、モリブデン線を絶縁し直接溶鋼に浸漬し、W/溶鋼/Moにて熱電対を構成し連続測温する試みも行われている⁵⁾。また光ファイバを転炉の底吹き羽口の中に挿入し、吹錬過程での温度変化を連続に計測をする試みもなされている⁶⁾。

海外においても数々の試みがなされているが、まだ実用の域に達した技術開発はなされておらず、今後の大きな課題のひとつである。

2・2 加熱炉内の材料温度測定

加熱炉の制御は炉内の空間的温度パターンを熱電温度計で計測し制御する方法で一般に行われている。しかし操業が高度化するに従い炉内材料温度を直接的に計測するニーズが高まってきた。酸化雰囲気での計測するときの問題点は加熱炉の炉壁温度が材料温度より高く、炉壁からの熱放射が材料に反射し放射温度計に達し誤差を生じる。この成分を迷光雑音と呼んでいる。この問題の解決方法としてR. Barberは図4に示すように次の二つの方法を提案している⁷⁾。①炉壁からの放射にかかわる迷光雑音を放射シールド板により除去する方法 ②迷光雑音を含めた放射光量を実測し、迷光雑音分を推定し補正する方法である。このアイデアにもとづいて、実際のプロセスに合わせた工夫を施し多くの実用化のための開発が行われてきた。

第一の方法の放射シールド法の実用化は、比較的低温(約

図4 加熱炉内での材料温度計測法⁷⁾

計測対象からの直接放射以外に周囲からの迷光雑音が存在すること ②計測対象の放射率が変動することである。第一の問題は前章で述べた放射シールド法(図4-a)が、加熱炉ほど温度が高くなく、プロセス上重要な計測箇所には一般に使用されるようになり、実用化技術の進歩がうかがえる。本方法で全てが解決されたわけではないが一応の解決策が与えられていると考えられる。

ここでは第2の問題点である放射率変動に関係なく計測する方法について述べる。放射率については鏡面状の純金属については理論的および実験的に考察されているが、実用的にはほとんど未解決の状態である。放射率は①鋼材の合金成分 ②表面の粗度 ③酸化膜の程度 などにより大きく変動する。放射率変動問題を解決するための手法は従来から種々提案されており、次のような分類の考え方がある¹⁴⁾¹⁵⁾。

(1)計測対象が放射する分光放射輝度信号を受動的に検出するか、参照光源等を用いて付加的な放射輝度信号を能動的に発生、検出するかによる分類。

(2)物体の放射率に関する知識を必要としない汎用的手法か、あるいは物体に固有の知識を必要とする手法かによる分類。

鉄鋼業への適用を目的に開発され、現場試験が報告されている技術で、ここに解説する方法を上記の考え方によって分類すると図7のようになる。図中の番号は以下に述べる方法につけた番号である。

①面積可変補助熱源を利用した放射率計測¹⁶⁾

オンラインで計測対象の放射率を実測しながら、放射温度計の指示を補正することにより真温度を求める方法が開発されている。補助熱源からの放射が計測対象によって反射した分を計測し放射率を求めるものである(図8参照)。補助熱源に面積可変スリットを設け、スリットが全開、半開のときの放射温度計の指示と補助熱源およびスリットの温度から放射率を算出する。算出式内に計測対象の表面状況により変わる定数が含まれており、この定数はあらかじめ求めておく。放射率が求まれば容易に補正が可能で真温度が求まる。本方法を被覆鋼板及び合金化溶融亜鉛メッキ

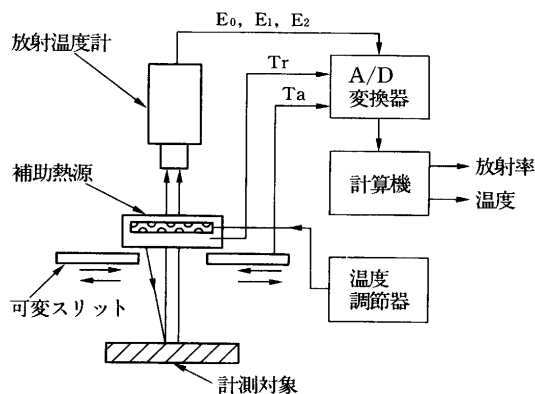


図8 補助熱源を用いた放射率推定法の原理図¹⁶⁾

鋼板の温度計測に適用している。前者は大きなパスライン変動に対して計測距離を一定に保つ機構を付帯し、後者は炉内での計測であるため水冷シールド板を併用している。

②2波長法：その1^{14)17)~19)}

本方法は計測対象からの二つの分光放射率の変化挙動をそのままの関数関係に表した一般式

$$\varepsilon_1 = f(\varepsilon_2)$$

を用いたことを特徴としている。関数fの形は実験的に分光放射率の変化挙動を計測し求める。2波長型と偏光型と呼ぶ2種類の放射温度計を開発している。2波長型は合金化溶融亜鉛メッキ鋼板のように、鉄と亜鉛の合金化現象に伴って起こる表面粗度変化が放射率変化の要因になるような対象に適している。一方偏光型は酸化過程の冷延鋼板のように、金属表面に酸化薄膜が成長することによって生じる光学的干渉効果により放射率変化が引き起こされる計測対象に適しているとしている。その概要を図9に示す。

③2波長法：その2²⁰⁾²¹⁾

種々の鋼板の分光放射率を実測し、実験結果より分光放射率の波長に対する関数を次式のように実験式として表現する新しい方法が提案されている²⁰⁾。

$$\varepsilon_{\lambda 1} = \exp(\alpha \cdot \lambda_1^2) \quad \varepsilon_{\lambda 2} = \exp(\alpha \cdot \lambda_2^2)$$

この放射温度計を誘導加熱されるステンレスビレットの測温に適用した結果も報告されている²¹⁾。

④3波長法^{22)~25)}

溶融亜鉛メッキ鋼板の合金化にともなう放射率変化を求めると、合金化の進行により放射率は約0.1から0.6まで変化し、放射率の波長関数は次のような単純な形で表せることを見いだした。

$$\varepsilon(\lambda) = a_1 + 0.1/\lambda$$

従って未知数は温度と a_1 の2種類であるが、3波長で分光放射輝度を計測している。これは分光放射輝度の計測値にも誤差が含まれているので誤差を最小にするため自由度をひ

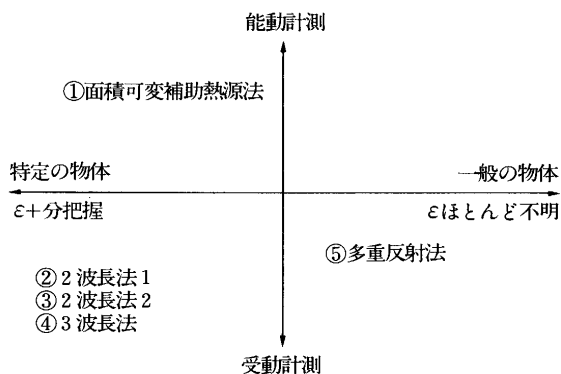


図7 放射率に依存しない測温法の分類

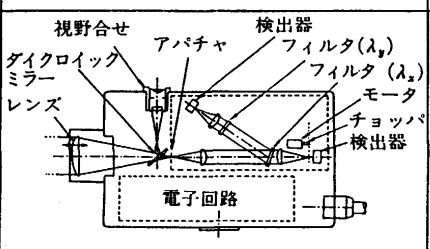
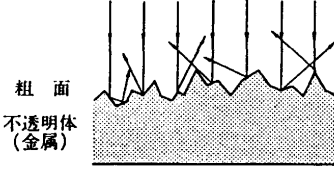
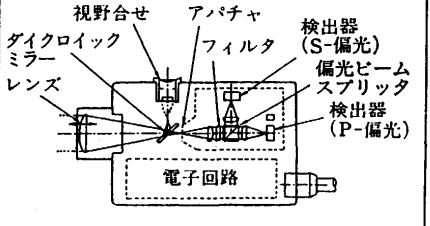
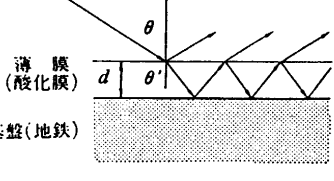
タイプ	光学系の構成	適用物体
二波長型		表面粗さの変化によって放射率が変動する物体 ex. 溶融亜鉛めっき鋼板 (合金化) 
偏光型		酸化膜等の薄膜生成により放射率が変動する物体 ex. 冷延鋼板, ステンレス鋼板 (酸化) 

図9 2色测温法 (その1) の構造と適用対象¹⁴⁾

とつ持たせている。計測に最適な波長数の決定や波長間隔などについても考察されている。またオンラインでの実験において比較参照するために接触型の校正用温度計の開発もあわせて行っている。

⑤多重反射法^{26)~30)}

内面を金メッキした半球内での多重反射を用いて見かけの放射率を大きくする方法は、“おわん型放射温度計”として手動計測用に古くから市販されている²⁶⁾。この考え方を

オンライン用に積極的に採用した方法は、反射板を計測対象にくさび状に配置して多重反射の効果を活用している。その効果を評価する実験方法²⁷⁾を図10に示す。またカラー鋼板ラインでの実験状況を図11に示す。放射率が0.27から0.66まで変化する対象に対して温度範囲200℃から300℃の範囲で±5℃以内の精度で計測できると報告している²⁸⁾。連続焼鈍炉での鋼板温度計測は各熱処理路炉を結ぶトンネル側壁に計測窓を設置し、鋼板の方向を90度変える回転ロールと鋼板とで形成されるくさび部で計測している。計測角度 θ が7度で見かけの放射率が0.95以上となると報告されている²⁹⁾。

また連続焼鈍炉の縦型炉で、ロールによる折り返し点近傍では両面の鋼板温度はほぼ一緒であると仮定し、2枚の鋼板間での多重反射を利用した方法も報告されている (図12参照)³⁰⁾。

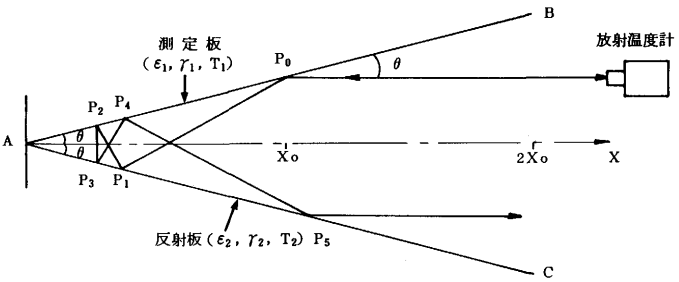


図10 平板による多重反射の模式図²⁷⁾

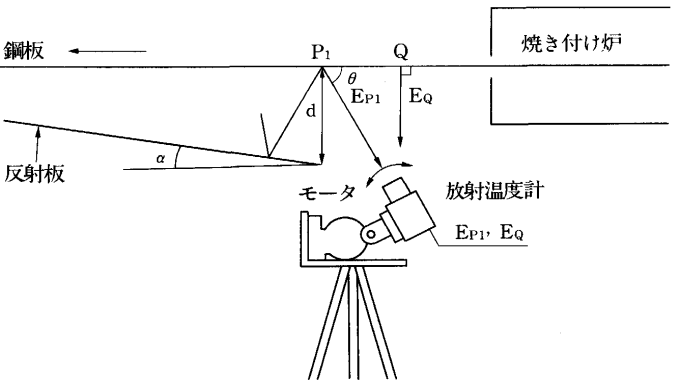


図11 多重反射効果を利用した方法の構成 (カラー鋼板ライン)²⁸⁾

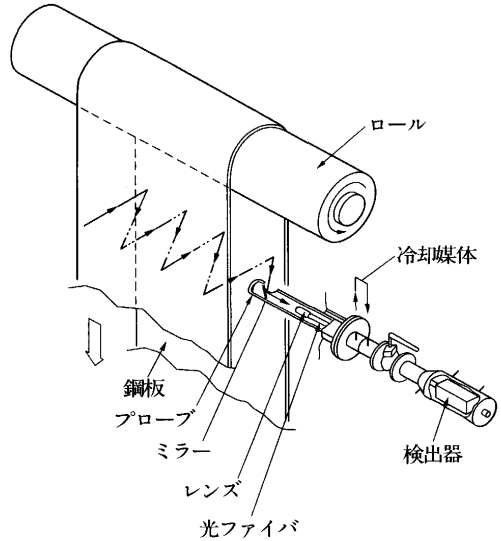


図12 多重反射法—その2³⁰⁾

以上鉄鋼プロセスでテストされた方法または実用化されている方法について概説したが、他の方法も提案されているし、アルミ産業で試験されている方法もある。いずれの方法も汎用性がまだ十分でないため、プロセスの特性、特に計測対象の表面状況と計測環境に応じて最適な方法を選択する必要がある。適切な判断を行うためには温度計測技術および製造プロセスの両方を熟知しているエンジニアが必要であり、現状では鉄鋼メーカー側でそのエンジニアを育成・伝承していく必要がある。今後はより汎用的な技術を開発する必要がある。

3・2 放射測温に関するその他の話題

前節にて放射率に依存しない測温法について述べたが、放射率そのものを実験的に求めるという基礎的な研究も行われている。Ti合金の酸化膜の放射率は普通鋼の酸化膜の放射率に比べて変動が大きく、Vなどの添加合金の影響を考慮する必要があると報告している³¹⁾。

温度に関する現象は反応等を伴うものがほとんどで実験室にてオンラインの模擬実験を厳密に実施することは不可能に近い。従ってオンラインでの放射率の挙動を知ることが非常に重要である。連続焼鈍ラインの炉内における鋼板の放射率をオンラインで計測する方法が開発されている³²⁾。操業の定常状態においては測温ロールと鋼板温度が等しくなることを利用して、ロール温度から求めた鋼板温度と放射温度計の指示値から放射率をオンラインで求めている。測温ロールの構造を図13に示す。炉内ハースロールに熱電対を11本埋め込みスリップリングを介して計測している。この方法により操業を阻害せずに鋼板の放射率の実測が可能である。一方オンラインで非接触で放射率を実測する目的のための基礎検討結果の報告³³⁾もなされている。概念図を図14に示す。基本的な考え方は参照光源を計測対象にあて、その反射率を求める方法である。実験装置は3個の異なる大きさの反射鏡とそれに対応する検出素子を備えている。光源からの光は計測対象に対して垂直に入射し、検出器1は垂直方向に対し0から4度まで、検出器2は4から10度まで検出器3は10から20度までの反射成分を計測しそれぞれの実測値から放射率を算出する。オンラインで随時放射率を計測できる本装置の実用化が期待される。

自社で数種の放射温度計を開発した例も報告されてい

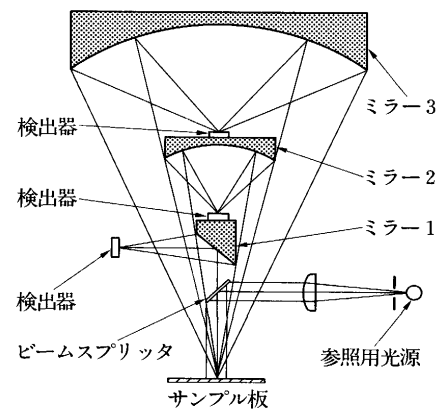


図14 オンライン計測を目的とした放射率計測装置³³⁾

る³⁴⁾³⁵⁾。高温域のみならず低温用放射温度計（計測温度範囲：-50～1000℃）や携帯用デジタル放射温度計を開発している。

2色温度計のミストによる測温誤差の検討もなされている³⁶⁾。ミスト濃度を定量的に制御したテストチャンバを用いて実験している。Si検出素子を用いた2色温度計の検出波長（0.85と1.00μm）に対して透過率比は 1.03 ± 0.06 （短波長側の方が透過率大）で、1000℃の計測対象に対して約20℃高めの指示誤差になると報告している。

4. 温度分布計測技術

鉄鋼プロセスにおいては大きな材料に加熱・加工を行うので製品品質の均一性の確保や省エネルギーなどのために温度分布の計測がしばしば必要となる。

ホトダイオードアレイやCCDリニアアレイを用いた電子走査型の一次元温度分布計測装置が上記目的のために開発されている^{37)~39)}。高速に走査が可能であること、小型軽量であるため機械的走査方法より信頼性を得るのが容易であることが特徴となる。しかしダイナミックレンジが狭いことや暗電流によるドリフト、CCD素子間のばらつきや像周辺部での受光エネルギーの低下による感度ムラなどが生じることが、これらは電子回路技術の進歩により補正が可能であること、CCD素子そのものがCCDカメラの普及により大きく進歩したので実用化している。測温のダイナミックレン

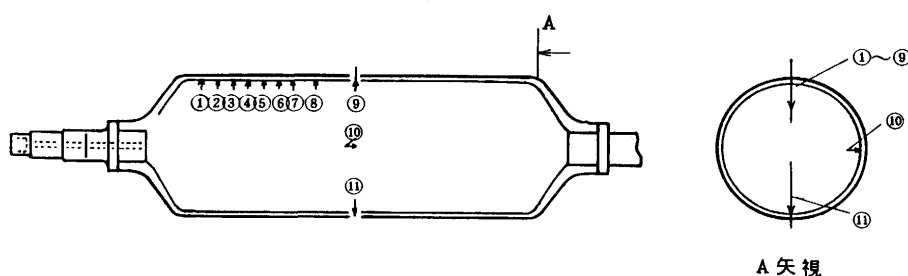


図13 連続焼鈍炉内の鋼板温度計測用ロールの構造³²⁾

ジはアレイの走査速度を変化させて確保している。低温の対象を計測するときは走査速度を遅くし、受光素子の電荷蓄積効果を利用し感度を上げている。その一例を図15に示す³⁷⁾。

連続鋳造プロセスでの二次冷却パターンの最適化による品質改善・表面疵発生防止などの目的のために温度分布計測の適用開発が行われている^{40)~43)}。開発のポイントはモールド直下や二次冷却帯の狭いスペースでいかに悪環境（水蒸気・水膜・スケール・保守環境劣悪など）を克服するかにある。ひとつの解決方法として、センサヘッドの小型化があり、オプティカルロッドをアレイ状に配置し、光ファイバで導光し光走査器（機械式）で順次走査し二色演算で温度分布を求める方法が開発されている（図16参照）。センサヘッドが小型であるためモールド直下での温度分布計測が可能であるとしている。特にスラブコーナ部の温度分布と操業条件との関係に注目して実験を行っている⁴⁰⁾。

一方二次冷却帯でのスラブ表面温度分布計測ではスラブ全幅の広い範囲をカバーできる特殊なパージ機構が必要となる。シミュレーションにより最適形状のフードを設計することにより水蒸気を確実にパージすることに心がけている。温度分布計測のみならず表面状況観察用のカメラも設

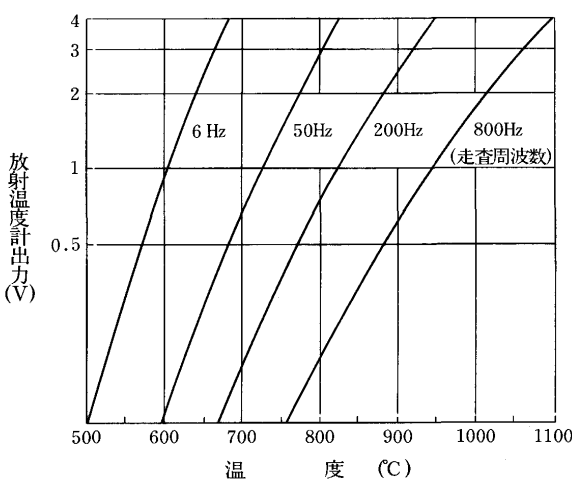


図15 電子走査型温度分布計測装置の走査速度と出力との関係例³⁷⁾

置している。1983年に開発状況の報告がなされ⁴¹⁾、1992年に実用化報告⁴³⁾をしているので、その間多くの現場的な改善がなされ実用化されたものと想像できる。開発期間より実用化期間の方が一般に長くかかると言われており、その良い実例であろう。

制御圧延や冷却制御で鋼材の機械的性質を確保することが盛んに開発・実用化されておりその目的のために光ファイバを用いた多点の温度計測が可能な放射温度計特に中低温が計測できるものの開発も報告されている⁴³⁾。また熱延鋼板の全長全幅保証の動きに対して、従来の点の計測と温度分布計測を組み合わせることにより全長全幅保証を可能とするため熱延のダウンコイル前に回転ミラー方式の走査型放射温度計を設置し試験を実施している。その有効性を確認するとともに幅方向の品質保証や幅方向温度分布制御の有力な武器になりうると報告されている⁴⁵⁾。

コックス品質の均一化を目的に、炭化室の水平方向の温度分布計測の実用化もなされている。計測方法は押し出し機に水冷ジャケットを設置しその中に市販の放射温度計を設置することにより実施している⁴⁶⁾。

光ファイバ内でのラマン散乱を用い、温度値と位置が同時に計測できる方法が開発・実用化されており⁵²⁾、鉄鋼業へ利用できるように高温化対策を実施した例が報告されている⁵³⁾。各種の高温炉の設備保全的用途に有効であろう。

以上温度分布計測の現状を概説したが、そのニーズは広範囲にわたっている。日本鉄鋼業において品質の優位性で国際競争力を確保する姿勢が続くかぎり、温度分布計測の必要性はつきずに継続するであろう。今までに開発された技術を適宜適用することにより解決できるものが多いと考えられるが、技術開発しなければならないものは走行する鋼板の低温での温度分布計測であり連続焼鈍炉などの関連で今後実用化が必要となろう。

5. 固体内部温度分布の直接計測

超音波を用いて人体内の温度分布を求める方法が、癌の治療法のひとつである温熱療法の温度モニタ用などを目的

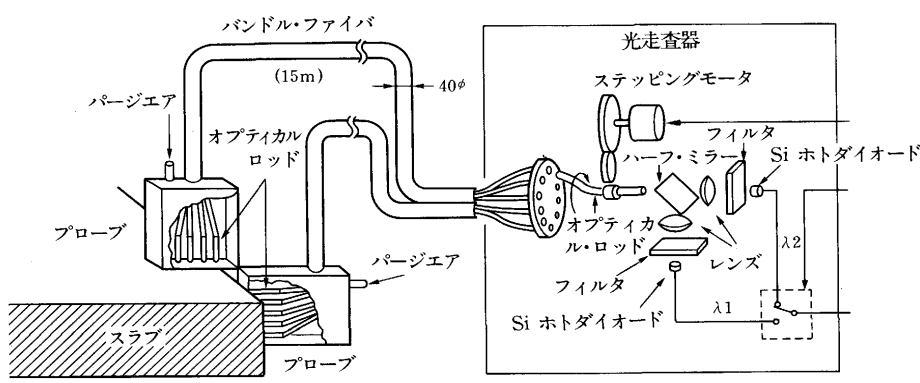


図16 連続鋳造スラブの温度分布計測装置⁴⁰⁾

に医療分野では開発されている⁴⁷⁾。生体組織による超音波の減衰係数や音速の温度依存性を用いる。

スラブなどの厚物の内部温度分布を超音波で計測する試みはなされているが、まだ基礎研究段階である。高温物体に非接触で超音波を送受する技術は、電磁超音波法やレーザ超音波法が開発されているので、それを適用すべき研究がなされているものと思われ、将来に期待したい。

6. 放射温度計のトレーザビリティシステム

放射温度計が普及しはじめた頃はメーカーにより指示が異なることがあった。これは黒体炉の精度の問題や温度計の構造などに起因していたわけであるが、放射温度計を工業計器と位置づけるためにはメーカー・ユーザー間で共通の技術基盤が必要であるという認識にたち鉄鋼業界から問題提起がされた。その結果計量研究所や放射温度計メーカーの協力を得て日本学術振興会製鋼第19委員会第2分科会にて検討が進められ基礎検討、共同実験などを経て技術的解決がはかられた。その結果も計測制御部会に報告されている^{48)~50)}。この業績をより汎用的にする研究が計量研究所を主体に実施され放射温度計に関する工業規格(JIS)が世界に先駆けて初めて制定された⁵¹⁾。これは放射温度計の構造、性能などを規定するものではないがいままでJIS規格なしで取引が行われたことを思うと大きな進歩である。この分野での鉄鋼業界の果たした役割も大きい。

7. 今後の課題

今後鉄鋼業が他産業との格差をつけられないためには、オンラインでの計測・制御の高度化はもちろんのことプロセス改善・設備改善のためのプロセス計測をより重視する必要がある。特に高温での反応が伴う製鉄や製鋼プロセスの基礎解明を十分に行うためには温度計測技術の果たす役割は大きい。またオンライン熱処理は一層の高度化が要求されるものと考えられる。このような状況のなかで、鉄鋼プロセスの研究レベルでの計測の果たす効果を再度考え直す必要があろう。

オンラインでの計測技術についても、今後のニーズは基本的に上述したことと同じと思われる。特に熱処理プロセス全般にわたってより高度な計測・制御が要求されるものと考えられ、そのなかでも特に高精度で信頼性の高い温度計測技術の開発が要求されるだろう。今回解説した表面処理ラインでの鋼板の放射率に依存しない温度計測技術の開発は各社が非常に活発に行っており、技術進歩という観点からは非常に喜ばしいことである。しかし反面色々なアイディアに基づく方法を各社独自に開発することは、開発された商品の市場性を非常に狭いものとしているため、鉄鋼各社の開発費負担を大きくしているといえる。温度計

測の技術開発以外にも同じような状況が今後とも発生するものと思われる。各社がこの負担に耐えられた時代はこの方法で問題なかったが、今後とも同じように続けるべきか、共同開発的な発想を導入すべきか日本鉄鋼協会・共同研究会・制御技術部会で議論する必要がある。

最後に計測技術(温度計測に限らない)の開発・実用化に携わっているエンジニアに一言アドバイスしたい。コンピュータの発達・普及で実験データの整理・図表化など迅速に可能になり、これらを手足のごとく駆使するエンジニアが増えたことは大変効率的に業務が遂行できるようになり、我々が第一線で研究・開発していた頃に比べると大いなる違いを感じる。しかし反面、以前はデータが簡単に取れなかったので実験中の現象を注意をもって観察していた。最近のエンジニアは事務所にてコンピュータがはき出したデータを見て考察する例が多くなっているが、そのときには現場での現象はなくなって考察が出来ないという例が多く見受けられる。是非とも実験中にデータを見ながら実験条件の変更などの判断をする習慣をつけてほしいと切望して本稿の終わりとしたい。

文 献

- 1) 豊田弘道：計測制御部会第100回記念大会講演集，(1989)，p.1
- 2) 鉄鋼業におけるセンサ技術(センサ技術調査研究委員会編)，(1988)，p.140
- 3) 田村洋一：計測自動制御学会温度計測講習会，(1992)，p.11
- 4) 新日本製鉄(株)(私信)1990年4月
- 5) 神戸製鋼所加古川製鉄所：学振19委-No.11159，(平成3年7月)
- 6) 犬井正彦，森 明義，岡田 剛，山本俊行，小山朝良：材料とプロセス，2 (1989)，p.216
- 7) R.Barber：Industrial and Pocess Heating，(1967)
- 8) Y.Tamura，M.Tatsuwaki，T.Sugimura，T.Yokoi，M.Sano and M.Koriki：Temperature Its Measurement and Control in Science and Industry，5 (1982)，p.505
- 9) 新日本製鉄(株)(私信)1982年7月
- 10) 住友金属工業(株)(私信)1986年7月
- 11) T.Loarer，J.Geffet and M.Huetz-Aubert：Applied Optics，29 (1990) 7，p.979
- 12) 田村洋一，山本俊行，阪口育平：計測技術，13 (1985)，p.35
- 13) 前田正史，勝山雅則，雀部 実：鉄と鋼，76 (1990)，p.1474
- 14) 田中富三男：計測と制御，31 (1992)，p.930
- 15) 小野 晃：計測自動制御学会第77回温度計測部会資料，(1989)，p.1
- 16) 福高善己，山根弘郷，飯田永久，菱刈 功，井手敏彦，鈴木利房：材料とプロセス，4 (1991)，p.1379
- 17) 新日本製鉄(株)(私信)1988年10月
- 18) 新日本製鉄(株)(私信)1989年4月
- 19) F.Tanaka and DeWitt：計測自動制御学会論文集，25 (1989)，p.1031
- 20) M.Watari *et al*：10th International Measurement Confederation World Congress，1985 (Prague)，Vol.4，p.237
- 21) Y.Tamura，M.Mukokubo，K.Arimatsu，M.Watari，Y.Watanabe and S.Chigira：4th International Conference on Optical Fiber Sensors，Tokyo，(1986)，p.235
- 22) 住友金属工業(株)(私信)1992年5月
- 23) 植松千尋，平本一男，山本俊行：材料とプロセス，5 (1992)，p.378
- 24) 上田 潤，赤瀬道孝，平本一男，植松千尋，高谷有志：材料とプロセス，5 (1992)，p.379
- 25) 小山朝良，安達祐司，植松千尋，中西 功，井田耕二，植村敬明：材料とプロセス，5 (1992)，p.380
- 26) M.D.Drury，K.P.Perry and T.Land：Journal of Iron and Steel Institute，(1951)，p.245

- 27) 日本鋼管(株) (私信) 1982年11月
- 28) 日本鋼管(株) (私信) 1983年3月
- 29) 日本鋼管(株) (私信) 1984年3月
- 30) I.Sakaguchi, T.Uemura, S.Inoue, T.Yamamoto, Y.Adachi and Y.Tamura : The 7th International Symposium on Temperature, (1992), p.933
- 31) 大同特殊鋼(株) (私信) 1984年11月
- 32) 川崎製鉄(株) (私信) 1988年4月
- 33) 真鍋知多佳, 赤松 勝, 柳井敏志, 新井明男, 鈴木紀正 : 計測自動制御学会第31回学術講演会, (1992), DS30-3, p.349
- 34) 大同特殊鋼(株) (私信) 1981年11月
- 35) 大同特殊鋼(株) (私信) 1987年7月
- 36) (株)神戸製鋼所 (私信) 1982年3月
- 37) 日本鋼管(株) (私信) 1981年7月
- 38) (株)千野製作所 (私信) 1983年11月
- 39) (株)千野製作所 (私信) 1985年7月
- 40) 日本鋼管(株) (私信) 1983年7月
- 41) (株)神戸製鋼所 (私信) 1983年11月
- 42) 斎藤 忠, 木村雅保, 上田 輝, 東 洵, 貝原保男, 浜田達也 : 材料とプロセス, 2 (1989), p.1448
- 43) 細谷誠一, 貝原保男, 浜田達也, 中尾 勝, 上田 輝 : 材料とプロセス, 5 (1992), p.227
- 44) 新日本製鉄(株) (私信) 1985年7月
- 45) 住友金属工業(株) (私信) 1988年10月
- 46) 新日本製鉄(株) (私信) 1982年2月
- 47) 福喜多博 : BME, 2 (1988) 3, p.167
- 48) 川崎製鉄(株) (私信) 1981年7月
- 49) (株)神戸製鋼所 (私信) 1983年7月
- 50) 新日本製鉄(株) (私信) 1983年11月
- 51) JIS C1612-1988 「放射温度計の性能表示方法通則」
- 52) 塩田孝夫, 和田史生 : 計測自動制御学会第83回温度計測部会資料, (1991), p.9
- 53) O.Iida, T.Iwamura, K.Hashida and Y.Kurosawa : Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry, Vol.6, (1992), p.745