



UDC 53.08 : 669.1 : 621.7

## 鉄鋼生産工程の工程内計測の動向

吉 谷 豊\*

### Reviews of On-line Measurements in Iron and Steelmaking Processes

Yutaka YOSHITANI

#### 1. ま え が き

科学技術は、観察から始まり、尺度を設定し、物事を定量的に計測し把握することによつて、進歩して来た。成分分析は、技術的には独立した分野と見なされるが、広義には、計測の一分野と考えられる。鉄鋼技術の進歩に先向して新しい分析技術、測温を始めとする計測技術の進歩があつたことは、鉄の歴史に明瞭に示されている。わが国の鉄鋼業が早期に工業計測制御技術を導入したことにより、工程の実態把握が進み、多くの改善改良が進んだとも言える。

計測はかつては実験の手段として多くの研究者が苦心して来たものであるが、これら計測法は研究室、試験室の域を脱せず、工場環境条件に耐えるものは少なかつた。過去 30 年のエレクトロニクス等の技術進歩と工程をより、正確に管理する必要の増大から、急速に進歩し、工程内に多くの計測器が利用されるようになった。かつて高炉には、送風流量計や熱風温度計等、極めてわずかな計測器しか使用されていなかったが、今日の高炉では、数百点に及ぶ計測値が常時指示記録されている。とはいえ、操業者にとつては、もつと本質的な、炉頂装入原料プロフィールや、炉内状況を把握する計測が求められている。

溶鋼温度測定を進歩による製鋼技術への寄与は大きい。この研究開発には学振 19 小委を始め非常に多くの技術者、研究者の長期にわたる努力によつて築かれたものである。工程内計測技術の確立はこの例に示されるごとく単純なものではない。昭和 35 年頃からのプロセスコンピュータの出現は、不十分な計測値分析値の精度を補助し、かつ計測出来ぬ諸量を、工程の数学モデルから予測出来ないか期待がかけられた。しかし、現実には、鋼材の諸性質のデータ不足と、計測値の精度不足から、実用に致るまでにはかなりの時間と労力を要し、むしろ工程計測の重要性を再認識するようになった。これは転

炉の終点制御の変遷に見られるごとく、静的なモデルから、結局は、中間測温分析によるダイナミック制御に移行したことに示されている。

一方、材質の均質化の要求から、従来の点の管理から面の、例えばストリップの幅方向の温度分布や板形状の計測が求められるようになって来た。生産性の向上から従来はあまり気にしていなかつた、ロール偏心、チャタリング等の問題も出て来た。省エネルギーの立場からの直接圧延の導入が進められているが、この全面的採用には、熱間疵検出が前提になり、これが世界的に大きなテーマになつている。このように、技術の高度化が進むことと並行して、多様なオンラインの計測が求められている。しかし工程内の計測は、従来の計測をそのまま移行することは困難であり、対象に応じて、妥当な原理を用うることが大切である。条件が限定されるため、その開発には多くの困難をとまなうのが普通である。冷延鋼板の形状計が現在のような段階になるまでに、15年の年月を要している。

表 1 は鉄鋼業において開発された計測器を年次別に示したもので、年を追つて数が増大していることが示されている。これらいずれも開発には長時間かかつており、いずれもその改良改善が続けられている。現在オンライン計測の求められている対象は、原料から製品に致るまで多様であり、量的なものから質的なものまで多岐にわたつている。したがつて全体の動向を詳細に記述することは困難で、最近の関心の強い対象の動向と、オンライン計測の特徴と問題について解説することにしたい。

(一般に工程内に組み込まれた計測をオンライン計測と呼ぶが、化学産業は生産の流れの中という点からオンストリームという言葉を用いたりする。混同をさける意味で、ここでは工程内計測と以後統一することにする。)

#### 2. 工程内計測

生産工程で、管理したい項目は多く、また実態をより

昭和 55 年 11 月 4 日受付 (Received Nov. 4, 1980) (依頼解説)

\* 長岡技術科学大学 (The Technological University of Nagaoka, 1603-1 Nagamine Kamitomioka-cho Nagaoka 949-54)



多くの場合物に直接触れずに、計測しなければならないので光学的、X線のような放射線、電磁波、弾性波等の波を利用しその反射または通過等の原理を用いて計測しなければならず、おのずと、利用原理が限定される。例えば鉄鋼工程に最初に導入された薄板のX線厚み計の場合、通状は中央の厚い部分が計測され、測られた値はビームの広さの範囲の平均値が指示されている。したがってクラウンの大きな板の場合、マイクロメータで測った値とでは、場所によつては当然差が出てくる。管理が強化されてくると幅方向の板厚も計測したい要求が出てくる。これを解決するのにいくつかのX線のヘッドを並べ多点計測するか、幅方向にビームを動かし分布を求めることになる。幅方向に走査する場合、ストリップは走行しているため、計測している断面は斜めに横切ることになる。

板の寸法形状は比較的わかりやすい例であるが、10年程前から実用されている。電磁鋼板の連続鉄損計測の場合、貫通コイルを用いて計測しているため、得られた値は、幅方向の平均値を示すことになり、鉄損が、幅方向でかなりの変動があることから、計測してもあまり実用価値が少ないのではないかと反論する人々があつた。JISで決められている鉄損測定法は30mm幅の矩冊形の鉄板を積層したサンプルを用いた、エプスタイン試験法で行われている。当然連続鉄損計測で測られたものとエプスタイン試験で得られたものは、サンプリング条件を始め条件が異なるため近い値は出ても同一の指示が得られるはずはない。この問題もX線厚み計の問題と全く同等であり、貫通コイルを用いた。連続鉄損計測はあくまでも鉄損の絶対値でなく長手方向の鉄損の変動状況を管理する目的に利用すべきものである。

そもそも、規格化された試験法が妥当であるが考えた場合、エプスタイン試験法も、いろいろ改善されては来たが1900年に考えられたものであり、80年前の技術水準で設定されたものである。多くの材料試験も計測の容易さから設定されたもので、その物理的意味を考えた場合必ずしも十分とは言えないのである。第一の工程内計測対象については既存の計測法と、原理及び計測条件の相違から新しい計測値と必ずしも一致しないことから使用者側の不信をかうことがある。ここでこのようなことを述べたのは、工程内計測を活用して行くために、何を何のために測るか、そしてその得られた値が何を示しているか、十分に理解して使うことが大切だからである。

幸にして鉄鋼技術は大型化連続化が進み鋳片の均質化が急速に向上ししかもミル剛性の大きな圧延域により圧延されるようになり、板形状など著しく向上した。したがって上記の問題は10年前に比すると著しく、工程内計測にとつて容易になつたと言える。

第2の対象は、操業状況の把握のためのものであり、

プロセス変量計測の問題である。この場合は高炉転炉等の諸設備に見られるごとく、高温の状態に耐え、いかにして再現性のある情報が得られるかという問題を、従来の点の管理から、大型化の進行と共に、三次元的な分布の状態を計測したいという点とがある。または、一方で高炉の羽口前レースウェーの状況とか、装入物プロフィールのようにそれを定量的に示す、妥当なパラメータまたは尺度をどのようなものを設定したらよいか、いまだはつきりしていないものも多い。例えば、高炉羽口先火焰温度の重要性は多くの人の認めるところであり、操業では理論火焰温度を計算しこれを一つの操業指針とはしているが、実際の火焰温度は当然燃焼状況と、レースウェーの大きさを始め状況によつて、変動するはずである。単純に火焰温度と言つても、拡がりのあるものでどこを指して言つたらよいか、計測する段になるとはなはだ困惑するのである。仮に羽口を通じ、火焰からの輻射をとらえたとしても同時に炉心からと、浮遊するコークスの輻射も同時にとらえることになり、これらとの分離が必要になつてくる。

計測は鉄を生産する上では必ずしも主流技術ではない。それは技術を推進する上での有力な道具であり、價格的にも大きさも小さいが溶鋼温度計に見られるごとく進歩に非常に大きな影響力を持つている。計測することは一見単純に見え、衛星の時代では容易に計測することが可能と思われがちであるが、その難易度は主流技術開発と差はないのである。

### 3. 原料処理工程

焼結及びコークス等の原料処理工程で、原料及び成品の性状が工程内で計測し得れば、管理上効果のあることは明らかである。しかし固体は流体と異なり均質性が悪く、特に鉱石、石炭では塊状では変動が多く、一般に性状を計測するためには、何らかの前処理を必要とする。したがって、コンベアー上で、原料の性状例えば水分を計測することには、非常に困難がともなう。工程内計測の方式としては、図2に示すごとく、流れの中で直接計測する方式と(B)自動サンプラーにより、一定期間内の平均サンプルを採取し、このサンプルで自動計測を再び人手を介せずにデータを取る方式(A)がある。

水分や石炭灰分等について、コンベアー上で計測する方式の研究がこれまで多く研究されて来たが、いまだ十分な精度のものが得られていない。ポーランドで石炭灰分密度をγ線で計測する方式で実用化している報告<sup>2)</sup>や洗炭工場ですラリー状の微粉炭灰分をX線で連続モニターしている報告<sup>2)</sup>はあるが、単一の銘柄に対して安定した検量線が得られても、銘柄により差を生じやすい。

一般に、品質は成分、組織、強度、通気性等複数のデータが必要であり、それらの試験をするためには、何らかの前処理が必要である。また一つの検出原理でこれら

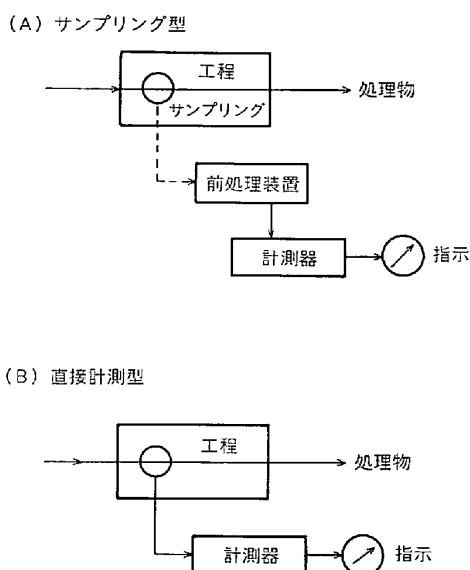


図 2 オンライン計測の二形態

すべてのデータは採取できないので、どれか一つオンライン化できても、効果は薄くなってしまう。わが国でもコンベア上で水分の計測について研究されたが、誘電率によるもの、赤外線によるものいずれも、特定部の値を示すことになり、平均値を示すものでないため、十分な精度が得られていない。そのため現在の方向としては、自動サンプラーで採取されたサンプルを用いた、図 2 (A) の自動計測を採用する方式を採用している。とはいえ、従来の JIS 等で決められている諸試験を自動化することは必ずしも簡単ではない。しかし新鋭一貫製鉄所では原料センターを置き自動化を強化しており、試験データの自動採取が進められている。安価なマイクロコンピュータの出現により、これら試験の自動化はかなり容易になったが、汎用品でないため、かなりの投資を要する。とは言え直接計測は著しく困難がともなうので、むしろわが国の方策の方が着実な方向である。

焼結の水分は装入原料の通気性に大きく影響するため以前からその水分計測は研究されて来た。しかし、この場合は原料ミックスが最も通気性のよくなる水分に調整すればよいのであるから、制御したい対象は通気性であり、通気性は圧力計測で比較的容易に実現できる。このことに気がつくのにかなりの時間を要したが、最近では原料ホッパーで通気性を測り、水分制御を行っている所が多くなっている。行程内計測はこのような計測の容易な方式に置き換え間接的に行う方策をくふうすることも大切である。

焼結鉱中の酸化鉄の形態により磁性が異なることから、磁性から性状と関連する値が得られないがこれまで各所で研究された<sup>7)</sup>。これらの実用化をベルギー CRM が完成し、数箇所の焼結工場で採用され、安定化に寄与していると報ぜられている<sup>8)</sup>。しかしこの方式は磁性に影

響する要素は FeO の成分のみでなく、密度を始め鉱石銘柄にも影響する。したがって、使用磁石の銘柄数の少ない工場や、管理の悪い工場では効果はあつてもわが国の焼結工場では必ずしも十分な精度を得ることは難しい。

焼結鉱の管理にはその組織を始め熱間性状も現代では問題にされている。したがって磁性という単独のパラメータにより管理することは困難な時代になつている。前記したごとく、項目別に試験を自動化しかつサンプリングの周期を短くする方が精度的にも有利と考えられる。

コースク炉はいろいろ改善が進められているが基本的にはバッチ炉を数 10 門並べたバッテリーで構成されているため計測制御の立場でははなはだやつかい対象でこの計算制御は大分遅れ手がけられた<sup>9)</sup>。反射ミラーを用いた放射高温計により、水冷 3 重管を用いて転炉ランスのように炉内に挿入し、燃焼室温度分布の計測法が住友金属によつて開発された。(計測部会、計 69-1-1、住金中研、1978 年 7 月図 3) この測温技術はコースク炉のみでなく、燃焼設備の炉内温度の計測に広く利用できるものと思われる。

#### 4. 製鉄工程

高炉計測についてはこれまで多くの研究がなされて来たが最近の発展は著しいものがある。しかし高炉は内容が複雑なため必要とされる計測は図 4 に示すごとく多岐にわたっている。炉自体の操業解析用の目的のものから操業管理用、炉体及び設備管理用のものに分かれる。高炉も転炉同様直接炉内情報で得られないかということから、炉頂ゾンデ、シャフトゾンデ、等の様々な設計のゾンデが過去十数年の間、各所で試みられ、ようやく実用化されるようになった。これらの詳細については多くの報告が出されているので別紙を参照されたい<sup>7)8)10)</sup>。

高炉操業にとつて第一に羽口周辺の状況を安定に保つ

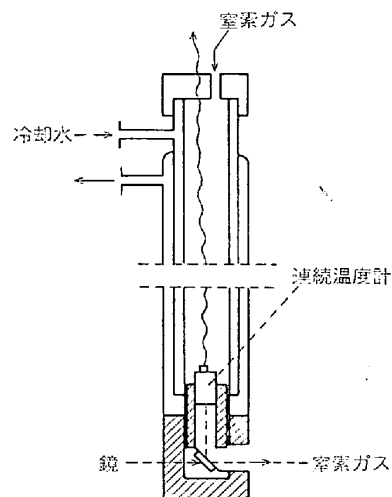


図 3 コークス炉用温度計

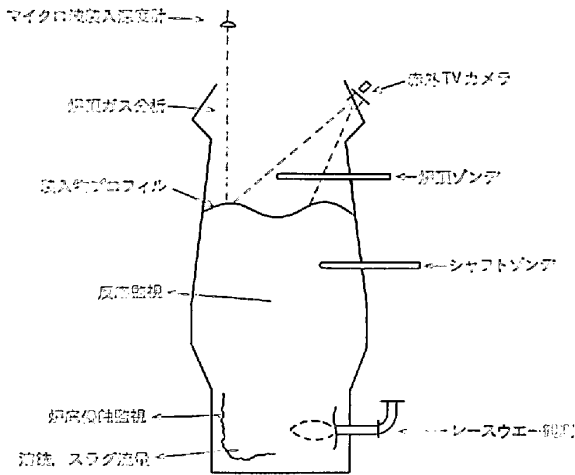


図 4 高炉に要求されるオンライン計測

こと、第2にシャフト部の通気性、還元状況を安定させることで、以前から各羽口への風量配分制御の実現が期待されていた。しかし高温送風への移行燃料噴射等で条件はむしろ困難な方向にあった。しかし支管別の流量も、セラミックベンチュリー管の採用又はペーンストック部の圧損を利用した。支管別流量計も徐々に実用されるようになった。

羽口先状況を計測するに先立ち、炉内を観測する上でITVの利用は各所で行われたが、日本鋼管福山製鉄所では任意の羽口を選択してレースウェーの状況、明るさ、コークスの動きを監視し得るカラーテレビ装置が実用化されている。将来画像処理技術の発展で、この画像から複数の情報が得られることになる<sup>10)</sup>

レースウェーをヘルムホルツの共振器と考え羽口先の圧力変動波の共振周波数からレースウェーの寸法に関連するデータが得られるのではないかと解析が進められたが、現象が複雑なため明瞭な共振周波数は得られなかった。しかし微圧変動とレースウェーの安定性とは関連があり、定常的に指示炉況の指針としている高炉もある。

装入物プロフィールを制御するためのムーバブルアーマーあるいはベルレス装入法が利用されるようになり、炉頂装入物プロフィール計測の重要性が増大し、いろいろ試みられていたが、現状実用化されているのは、通常重錘を用いたサウンジングを機械的に、走査する方式である。光学的に走査する方式など試みられたが、ダストの多い雰囲気では、どれも成功していない。従来のサウンジングロッドに代わり、航空機の高度計で発展した。μ波高度計を利用した深度計が西独ATHの高炉で実用化され、わが国でも同様にいくつかの高炉で試みられ、実用化されている<sup>9)</sup>。これはμ波の周波数変調した連続波を用い、送信波と反射波の周波数のずれから求めるもので、この原理は製鋼の湯面位置計測などにも利用されている。ストックラインは鉱石、コークス共に粒状であるためスムーズな面ではなく、したがって測長精度は平板の

場合より当然わるくなる。

炉頂部の装入状況、吹き抜け等の観察に、炉頂にITVを設置するくふうがこれまで各所でなされて来た。(主として耐久性のある窓の開発と窓のよごれを防止する対策)しかし装入時のダストの吹き上がり等で明瞭な視野が得られる期間が短かった。今日ではダストに対し影響の少ない赤外線カメラに移行し、装入物の温度分布を同時に監視し得るものが主流になつている。これにより、炉芯の動き、吹き抜け、棚つり、スリップの状況が判定でき、装入制御の指針として利用されている。

シャフト部での計測で興味のある検出として、鉄鉱石が400°Cまではほぼ一定した透磁率を示すことから、高感度のマグネトメータを炉壁に埋め込むことにより、鉱石とコークスの境界面の移動が検出できることである<sup>12)</sup>。これは400mm間隙に上下に磁気センサーを配置その差分の信号を記録するもので、鉄石コークスの界面で中心に来た時、信号が最小にコークス鉄石になつたとき最大になるようにしてある。これを高炉円周4箇所におくことにより、装入物降下の片寄りを検知することができる。

高炉寿命延長のための炉底侵蝕の計測は以前から重要な課題であつたが、熱流計の改良により炉底侵蝕予測の精度は著しく向上した<sup>11)</sup>。一方マイクロ波同心ケーブル長がパルスの反射から計測できることを利用した。直接モニターする方式が開発され、数基の高炉に採用されている。この種の開発は、成果の確認にたいへん時間がかかる。この予測問題は9割方解決したといえよう。

### 5. 製 鋼 工 程

転炉計測については、過去の長い間の開発によりサブランス技術が定着し、ほぼ完成し全般的な関心はむしろ前後処理の問題と連続鑄造に向けられている。勿論製鋼は新しいスラグレス精錬や脱瓦斯を組み込んだプロセス等今後かなりの変革が進み、それにとまなう計測の問題が当然重要な課題になるものと思われる。

連続鑄造については昭和45年頃から開発が活発化し図5に示すごとくモールド湯面制御、水冷制御等の研究

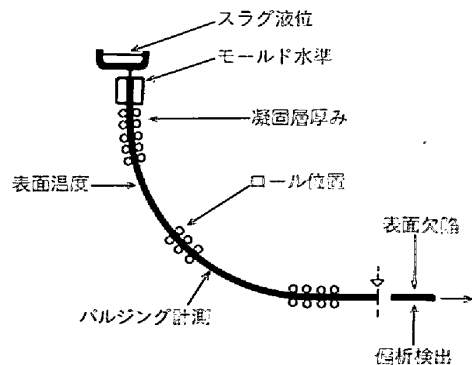


図 5 連続鑄造に求められるオンライン計測

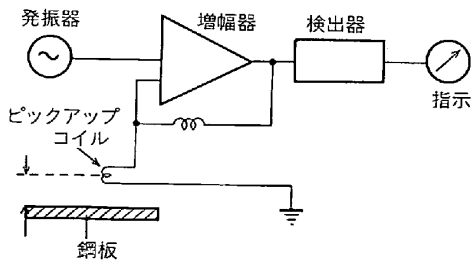


図 6 渦流式距離計原理図

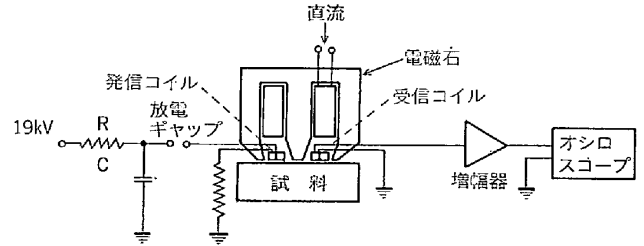


図 7 電磁超音波発信器原理図

開発が進められ各種の湯面検査、測温技術、ピンチロールギャップ計測、バルジング計が実用化された。これらの詳細については紙面の都合上別紙を参照されたい<sup>13)</sup>。

モールドの湯面検出に関しては熱電対法が広く用いられていたが、保守が面倒であること、応答の面から最近では過電流または電磁式の湯面検出が利用されるようになって<sup>14)</sup>。日本鋼管山田等の開発による渦流式変位計は比較的小さな変位から、数 cm の変位の計測が可能なることから、非接触計測に対し幅広い応用が試みられている<sup>15)</sup>。この原理は図 6 ブロック線図に示すごとく、高周波電流の流れているコイルを導体に近づけると、導体内に渦電流を発生し、これがコイルと導体の幾何学的関係で決まることを利用したもので、検出コイルのインピーダンス変化から距離を計測するものである。この変位計は後で述べる板の形状測定にも利用されている。

一方、マイクロ波の距離計は高炉の装入深度計測に利用されていることは前項でも述べたが、マイクロ波によっても液面検出が可能であり、住金、小林らにより普通造塊時の湯面位置計測が実施されている<sup>16)</sup>。マイクロウェーブはいまは汎用化されていないが、将来価格的にも広く利用し得る技術と考えられる。

連鑄の計測中でバルジングの計測、ピンチロールのギャップ調整用の計測があるが共に変位計で計測し得る対象であり、いろいろな方式が採用されている。これらすべて連鑄の環境の悪い所で使用される関係上、耐久性が第一の条件になる。

連鑄で重要な項として、凝固層厚みの計測ができないかという問題がある。電磁超音波により、非接触で鑄片に超音波を打ち込み、反射法により、シェル厚みを計測する方式に、新日鉄川島らは成功している。電磁超音波は図 7 に示すごとく、交流励磁コイルによつてスラブ内に発生する渦電流と直流磁界との相互作用で、鑄片内部に超音波を発生させるもので、反射波は同一のヨークに取り付けた。受信コイルによつて検出する方式である。現状、励磁の関係上、従来の圧電素子のように小型なものにはできないが、非接触で超音波の送受信が可能になったことが、多くの可能性をもたらしている<sup>17)18)</sup>。

これは、現在大きな課題になっている。鑄片の熱間探傷に対しても一つの可能性を与えている。現状、熱間探傷は主として、ストロボスコープ光源を用い、画像を I

表 2 形状検出器の分類 (( )内は開発元)

形状検出器	接触式	距離法	機械接触式 (Vollmer)
			電気接触式
非接触式	距離法	接触ローラー式 (British Aluminium)	
		ソリッドロール法	
非接触式	距離法	中空多分割ロール法 (Loewy Lobertson) (ASEA)	
		張力計法	
非接触式	変位法	透磁率法 (BISRA, J & L)	
		保持力法 (東芝, 中山鋼業)	
非接触式	変位法	鉄拍法	
		流体噴出式 (住友重機, 東英電子, 住友軽金属)	
非接触式	変位法	磁気反発式	
		磁気吸引式 (新日鉄, 三菱電機)	
非接触式	振動法	カタナリ法	
		インダクタンス式	
非接触式	振動法	速度演算法	
		弾性振動法 (日本鋼管)	
非接触式	振動法	励振法	
		機械的加振法 (新日鉄)	
非接触式	光学式	光反射法	
		棒状光源法 (新日鉄, 石川島播磨)	
非接触式	光学式	レーザ光源法	
		光干渉法	
非接触式	音波法	マイクロ波法	
		超音波法	
非接触式	温度法	水柱抵抗法 (川崎製鉄)	
		温度分布法	
非接触式	放射線法	プロフィール法	
		回折法	

TVで取り、画像解析から傷検出する方式、従来の過流探傷技術を利用した方式等、様々な方式が研究されている<sup>20)</sup>。どの方式が最終的に残るか、現状明確な線は引き難い。各所で活潑に研究が進められているので、数年内には実用的なものができるものと思われる。

## 6. 圧延工程

圧延工程での最近の大きな成果は薄板の板形状計測である。これについては 2 つの詳細な報告<sup>21)22)</sup>が出されているので、ここでは開発にあつての諸問題についてふれることにする。形状の計測は切板を定盤の上に置き、水平面からの変位を測ることから始められた。これを走行中の鋼板で計測する場合は、変位は鋼板張力により変化することから、幅方向の張力分布が形状と対応することから、張力分布が測定できないか多くの研究が進められた。計測可能な原理は表 2 に示すごとく様々な方法が考えられ、それぞれ一長一短がある。

棒状光源を用い、板上に投影された像から形状を計測する方式が、ホットストリップで実用化されたが、これは比較的張力の小さいところでは利用できるが、精度の不足と画像の明瞭度の不足から、現在では主流から外れている。中空の分割ロールを用い張力分布を求める方式が ASEA, LOWEY から実用化され、ASEA 型のものは

わが国に 2 台輸入されたが、計測ロールの構造が複雑になるばかりでなく、故障も多く、現在我が国で利用しているところはない。BISRA, J-L 社では、鋼の透磁率が張力により変化することを利用した。形状計を 1960 年代から進めたが、透磁率は鋼種により変動することもあり、実測値との対応を取ることに困難さから、汎用化するに致つていない。磁氣的なものは比較的単純なピックアップにより、信号を得ることができるので、各所で試験が行われ現在この種の自製の形状計を操業に使用しているところもある。これは、莫大な現場データから実際のストリップの形状との相関データを取つていて、これらの較正データは特定のミルについて適用できるもので汎用性はない。

この種の計測で重要なことは、(i)原理が明確であること、(ii)較正が容易であること、(iii)どの圧延工程でも利用できることで、材質や板寸法に影響されるものは成功しても広く利用されにくい。その面で、磁気吸引式の変位分布を計測し張力分布を求める方式は、ステンレス等の非磁性の板には利用し得ないが、最も汎用性のある形状計である。現在十数台圧延ラインに設置されており、この形状計によつて、日立製作所、新日鉄共同で開発された。形状制御性のよい 6 重ミルの評価も可能になったと言える。板形状についてはようやく完成の域に達したが、これ迄に多くの失敗と長い年月を要しているのである。

現在薄板の分野では、急速に連続焼鈍が普及しつつある。この中で、走間中のストリップ温度の正確な計測は大切であることは言うまでもないが、低温域では輻射が小さくなる上、ストリップの放射率は 0.2 前後と低く、輻射高温計での測温の困難な対象であつた。この分野では、大野、井内等の開発された MR 測温法は、温度、放射率共に計測可能な高精度測温法で、熱処理ラインの測温に有効に利用されている<sup>23)24)</sup>。一方鋼板の電気抵抗が温度と比例関係にあることから、渦流法を用いた。簡便な測温法が山田等により開発されている。これは材質により較正值が変わるので、絶対値の面では精度が必ずしもよくないが、低価格で非接触測温ができることが魅力である。相対的に管理するには有効なセンサーである<sup>25)</sup>。

鋼材の寸法形状の工程内での計測は薄板の X 線または  $\gamma$  線厚み計のみで、幅長さについてオンライン化されたものは著しく少なかつたが、薄板のミニマムゲージの採用を始め計測の必要の増大と、エレクトロニクスの進歩により急速に発展した。冷間製品については、着磁法による長さ計が各種鋼材に適用されており、初期には鋼材中にシャープな磁化が困難であつたが、最近では精度も向上し、特に長大橋用の線材の測長では 0.01% という高精度を達成している<sup>26)</sup>。(一般のストリップ等では 0.05% 精度のものが用いられている。)

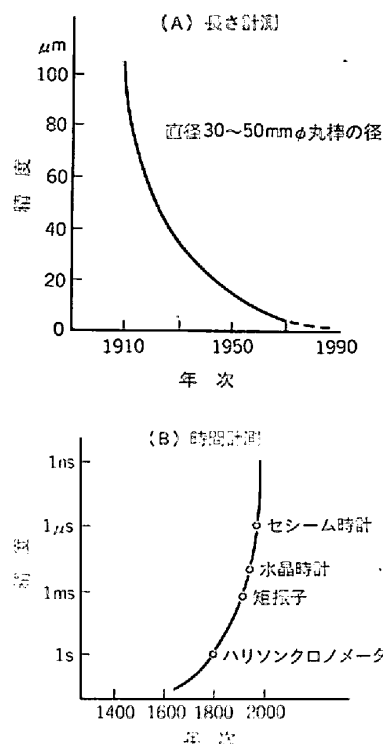


図 8 基本計測精度の進歩

光電素子の進歩で、光切断による寸法計測も進み、線材の太さ計もようやく実用されるようになった。この実用化にあつて、通状天地、左右の 2 点が計測されるが高速に走行する線材のサンプリング位置が後でわからなくなること、計測点で線材が振動しこれが雑音の原因になつたことがあり、実用にはかなりの時間を要した<sup>27)</sup>。

厚板圧延工程において、最近の川鉄水島製鉄所で完成した形状制御は歩留りにおいて、飛躍的な成果を達成した。これは剛性の高い油圧圧下ミルと優れた圧延ノウハウの蓄積によるものが大であるが、長さ幅の計測による板プロフィール計測がこれらノウハウ蓄積の基本になつている。また内部欠陥検出のための超音波探傷のオンライン化は厚板と鋼管で最も進歩し、過去 20 年の研究開発により熟間オンライン探傷はほぼ完成している。特に大分製鉄所厚板ミルでは 120 チャンネルの素子を持ちほとんど全面探傷に近い探傷が全厚板に行われている。

圧延工程では鋼材の速度、張力の非接触計測が求められているが、レーザーによるスペックルパターンを利用した速度計、または磁性を利用した断面積計等も徐々に開発されており、これらについてもここ数年内に実用されて行くものと思われる。

## 7. 結 語

現在、求められている工程内計測の対象は非常に多く製品別にも例えば鋼管についても様々な興味のある計測が開発されている。しかし紙面の都合上ここでは主プロ

セスの最近の動向を解説するにとどめた。ここで述べたごとく、工程内計測はできるかぎり非接触非破壊が望ましいので従来の計測法と原理及びサンプリングが異なってくるため、得られたデータに対しては異なつた解釈が必要である。特に質的なものについて、従来の試験法は必ずしも完全なものではないが、常に従来法との比較で論じられるため、導入を困難にしている。例えば、鋼板の表面粗度は一つの重要な項目であるが、JIS で設定された粗度は、線走査で必ずしも 2 次元的な表面粗度を示すものではない。塗装性、めつき性等の実際に則した粗度計測に対しては、2 次元の拡がりを持った光学的粗度の方が妥当と考えられるが、あまり普及していない。

鋼材強度、硬度を始め多くの品質の諸試験は簡単に計測し得る方式で設定されて来た。それらは必ずしも明確な物理的な意味から立脚したものではない。硬度と引張試験は共に強さを示すものであるが、同一の値を示すものではなく、対象により使い分けられている。技術が急速に進歩する中で、尺度だけ古い尺度にこだわるのもおかしい気もする。今後工程内計測を進めるにあたって、異なつたサンプリング条件、計測原理を採用することになるので、尺度も当然変わってくる。したがって使用する側で、従来尺度を絶対視しないで、柔軟な考えをもつていただくことを要望したい。

これまで述べたごとく、工程内計測法の開発には非常に多くの年月を要し、優れた創意と努力があるのである。薄板形状計の開発に見られるごとく多くの試行と失敗が重ねられている。考えられる方策も多いだけに重複研究は避けられない。しかし成功している事例で共通していることは、第一に使用者側に著しく熱意のあることが大きい。現在、マイクロプロセッサの出現を始め、計測に利用し得る道具立ては非常に豊富になつて来た。しかし開発には第一に何を何のために計測するか、明確にすることが大切である。それに対応して、その対象を計測するには、いかなる手段を選んだらよいかという問題に進むから使用者と計測技術者との密接な対話が必要である。多くの場合使用者の求める量を直接得られず、間接的に求めることが多く、その場合測られた量を使用者が認識して工程にいかにか活用するかが成功を左右している。今後の発展は生産にたづさわる人々の協力なくしては困難であり、ここで重ねて今後の協力を御願い致します。

## 文 献

- 1) S. CIEPISZ, et al.: 3rd IFAC Symposium Montreal 1980 (375) (Instrumentation of coal Preparation plants)
- 2) M. W. MIKHAIL: 3rd IFAC Symposium Montreal 1980 (389) (Automatic in-line ash monitoring for coal Slurries)
- 3) J. LÜCKERS and A. POOS: (Automatic in-line ash monitoring for coal sunies) International meeting on Iron and Steelmaking, Brussal (1976)
- 4) 藤井靖治, 山本倫久, 坪井邦夫: 計測と制御, 17 (1978) 12, p. 925
- 5) 田宮稔士, 前田政治, 斉藤 浩: 計測技術, 6 (1978) 5, p. 38
- 6) 鈴木久夫: 計測技術, 8 (1980) 11, p. 75
- 7) 田宮稔士, 岩村忠昭, 下西幾二: 計装, 23 (1980) 2, p. 12
- 8) 野坂康雄, 吉谷 豊, 沢田保弘: 製鉄研究, (1973) 279, p. 14
- 9) G. SUZUKI and M. MIZUNO: Trans. ISIJ, 18 (1978)
- 10) 大槻 満, 丹羽康夫, 松村勝己, 原田 実, 佐野和夫: 日本鋼管技報, (1975) 68, p. 23
- 11) 田村洋一: 計測技術, 8 (1980) 11, p. 63
- 12) 藤井義博: 機械学会誌, 82 (1979) 731, p. 1138
- 13) 藤井国一: 計測と制御, 19 (1980) 6, p. 581
- 14) 佐野和夫: 計測技術, 8 (1980) 6, p. 27
- 15) 山田健男: 第 22 回応用物理関係連合講演予稿集 (1975), p. 165
- 16) 白岩俊男: Proc. 61st. National Open Heath and Oxygen Steelmaking Conf. (1978), p. 189
- 17) 川島捷宏: 計測技術, 6 (1978) 6, p. 27
- 18) 第 72 回計測部会資料, 計 72-2-5 (1979)
- 19) 第 67 回計測部会資料, 計 67-2-2
- 20) 田麿競則: 鉄と鋼, 66 (1980) 11, p. S 844
- 21) 藤井国一: 塑性と加工, 20 (1979-2) 217, p. 89
- 22) 坪井邦夫: 計測と制御, 18 (1979) 6, p. 510
- 23) 大野二郎: 放射を利用した温度計測 SICE 温度計測講習会 (1973) 12
- 24) 井内 徹, 大野二郎, 草鹿履一郎: 鉄と鋼, 61 (1978) 8, p. 78
- 25) 佐藤勸次: ニレコニュース, (1974) 6, p. 14
- 26) 吉谷 豊, 横田典之, 山口隆康: 製鉄研究, (1972) 275), p. 69
- 27) 泉 正雄, 川瀬 彰, 清野満夫, 酒井明雄: 鉄と鋼, 59 (1973) p. 613