

本邦鉄鋼業計測技術の進歩

山内二郎*

PROGRESS OF MEASUREMENT TECHNIQUES IN IRON
AND STEEL INDUSTRY*Ziro Yamauti*

Synopsis:

There are two main fields of the measuring techniques developed and applied to the iron and steel industry in Japan during these ten years since the War end. The one is that for the heat economical request which has arisen from the insufficiency of fuel and the other is that for the improvement of quality and yield of products, which has been studied at the 19th and the 54th Research Committees of the Japan Society for Promotion of Science long before the War.

1. Progress of the Instrumentation for the Heat Economy.

In order to overcome the worst condition of fuel at the time of the after-war, the movement of heat control was vividly started in iron and steel industry and the instrumentation was taken to be important to be applied. In December, a Committee of Instrumentation was organized to study various problems to be solved to realize the instrumentation in iron and steel industry.

In June, 1949, the Technical Organisation of Heat Economy was started, under which a Special Committee of Instruments was organised to study the instrumentation techniques. This Committee worked to elevate the interest to instrumentation among the steel works in Japan, and the instrumentation of open hearth furnaces and heating furnaces advanced to be adopted very rapidly in the great many works.

The Committee decided to adopt the standard instruments to be installed for the furnace operation. The instrument makers developed various instruments of new idea to meet the special requirements, which were proposed by the Committee. After some time of researches and studies proceeded with the instrumentation, the Committee found many problems to be solved and made success in determining the normal conditions of operation.

In November, 1953, the Committee published a manual of the instrumentation which covered the administration, the kind of instruments, the methods of installation, maintainance, repair, calibration, instrumentation, and so forth.

2. Progress of the Measuring Techniques for the Improvement of Quality of Products.

Among various measuring techniques to improve the quality of products, the high temperature measurement for steel making have been studied since 1935 by the Second Sub-Committee of the 19th Research Committee. In the pre-war period, many fruitful results were obtained in contributing to improve steel making. After the war-end, some of the items to be studied by the Subcommittee were changed to meet the urgent need, while some others were continued to match the conditions at that time.

Among the latter items, there was the development of photoelectric pyrometer, which was effectively used to measure continuously and to control the temperature of the ceiling of open hearth furnaces. Another item was the cobalt glass for use before the open hearth furnace. Before the war Sub-committee studied the standardization of the cobalt glass and after the war the sub-committee studied it from the view point of temperature determination which was analysed by colorimetry. This new idea of research resulted in the development of a colorimeter without an artificial light source and in the standardization of the cobalt glass of two kinds for forging. In the next step the cobalt glass was studied from the view point of

* 東京大学教授工博

protection of eyes against non-visible rays, without changing the hue. It was in effect in getting a blue glass which guard the eyes against even infra-red light.

The third item which is very important is the temperature measurement of molten steel in the open hearth furnace. Before the war there were records of temperature distribution in the furnaces, with specially designed direct immersion thermo-couples. After the war they studied practically the constructions of the thermo-couples which were suited to be used for daily works and made success in using them daily combined with electronic recorders. They were usually calibrated with Pd-wire method.

A testing set of silicon steel plates without cut has been successfully developed by a research committee organised by the Institute of Electrical Engineers.

戦後 10 年間の我国製鉄製鋼工業における計測技術向上の跡を辿つて見るに大別して二つの流れがあることが判る。その一つは終戦直後の燃料不足、石炭不足の結果起つた熱経済上の要求に基いており、他の一つは戦前戦時を通じて學術振興会第 19 委員会、第 54 委員会の手で行われてきた品質改良、歩留向上の手段としての計測技術の改良研究である。斯く大きな二つの流れがあるにも拘らず、極く最近になつてからは製造現場における計測技術の管理担当が、その対象の品質改良、歩留向上であると熱管理であるとを問わず、作業所の同一部門によつて行われる傾向が著しくなつてきたため、計測技術そのものの研究改良という点では敢えて区別して考える必要が無くなつてきたことは研究の能率化という面から見て喜ぶべき現象といわなくてはならない。しかしここでは便宜上前述の二つの流れに従つて区別して述べることにする。

I. 熱 経 済 関 係

終戦当時のわが国鉄鋼界は原料の不足特に石炭の最も逼迫した時代であつて、産炭地北海道における日鉄輸西でさえ石炭不足のため操業を短縮しなければならないような状態であつたので、燃料として石炭を最も多く使用し高熱作業を行う鉄鋼業においては熱管理運動が起り、操業の合理化が強く台頭したのである。昭和 22 年 2 月商工省令で熱管理規則が制定され、熱管理指定工場制が実施された。燃料節約の実施方法として、操業の合理化に必要な計測設備の重要性が強調され 23 年 12 月鉄鋼局主催による鉄鋼増産協議会が発足し、官庁、業界、計器メーカー等のメンバーによる計器整備委員会ができ、計測操業促進のため、各工場の生産設備の現状、計測化充実に必要な資金、資材面の調査が行われた。これが戦後における計測化促進の第一歩であつた。

翌 24 年には総司令部の斡施によつて熱管理の専門米人技師が来朝し、全国各工場に亘つて調査し、国内炭および輸入原料を確保し産業復興、特に平炉、加熱炉を経

済的に操業するように技術指導が行われた。これと期を同じうして同年 6 月鉄鋼局、鉄鋼連盟、鉄鋼協会合同の熱経済技術部会が発足、また指定工場は熱経済委員会を設置し、業界、学界、計器メーカーの権威者をもつて構成された計器専門委員会が設けられ、計測技術および管理の具体的な諸問題を専門的な面より調査研究を行うことになつた。

米人技師の調査報告と熱経済技術部会の活動により、鉄鋼界全般に亘り計測管理に対する関心が強く盛りあがる機運となり、計器専門委員会が推進力となつて平炉および加熱炉の計測化が急速に実施されるようになった。

当時の平炉における計測設備は誠に貧弱なものであつて、燃料使用量の測定を行つてゐるのは一部大工場のみであつて、勿論燃焼用空気量を測定して燃焼状態の調節を行うこと等は実行されず感覚操業が主であつた。

米人技師 Hays 氏が「日本の平炉は計測器がなく、平炉の中には冷空気が侵入して来る状態で操業しており冷気を加熱しているような状況である」と指摘したように炉内負圧操業が常識のようであつたが、米人技師の指摘により平炉の原単位切下げのためには正圧操業が必須条件であることがわかり操業が切換えられた。即ち炉内への冷空気侵入を防止するため適正炉内圧にするため、炉天井中央部より炉内圧を取り出し沈鐘式または隔膜式微圧計で計測し、煙道ダンパで調整を行うので、これが戦後の平炉における計測化実施の最初のものであつた。

24 年 7 月に計器専門委員会で平炉、加熱炉、高炉関係等各設備別に操業に必要な欠くことのできない計器の決定、すなわち標準計器が検討されることになり、これに必要な資料として各社において実施または研究を行つたもの等が提出され、7 月以降 4 回にわたる委員会において討議された結果 12 月に平炉、加熱炉関係のものが作成されたのである。(Table 1 にその 1 例を示す) この Table 1 表を参考として各社の炉に適應する計測法および計測器が逐次整備される状況となり、他方計器メーカーも当時は Table 2 に示すような一般熱管理用計器の

Table 1. 平 炉 用 標 準 計 器

24~12 熱経済技術部会
熱計器専門委員会

番号	重要度	名 称	目 的	発信方法	計 器	測定位置	備 考
自 1	A	炉内圧自動制御装置	炉内天井圧の変化に応じて煙道ダンパーの開度ファン圧力を自動調整する	炉 内 圧	炉内圧力計等		
自 2	A	炉内温度自動制御装置	炉内天井温度に応じて燃料および空気の供給量等を加減する	炉天井温度	燃料流量計、炉天井温度計等		
自 3	A	比率自動制御装置	燃料使用量に応じて適当な比率の空気量を自動的に供給する	燃 料 流 量	燃 料 流 量 計 空 気 流 量 計 等		
自 4	A	重油温度および圧力自動制御装置	重油の温度および圧力を所定値に保持する	重油温度および圧力	重油温度計 重油圧力計		
自 5	A	自動変更装置	蓄熱室温度の変化に応じて一定時間範囲内にて変更弁を自動切換する	蓄熱室温度時計	蓄熱室温度計等		

自動制御を行わないときは次の計測器を使用する。

番号	重要度	計測すべき値	目 的	発信方法	計 器	測定位置	備 考
1	A	ガ ス 流 量	炉況に応じてガス流量を加減して炉内温度を調節する	オリフイス板（又は遮流板）	沈鐘式又はリングバランス式流量計（指示、記録、積算）	ガス供給本管変更弁前（直管部）	差圧発生装置および取出口の掃除設備を付け手入すること。計器は最大差圧の小さいものを用いる
2	A	空 気 流 量	ガス量に応じて燃焼用空気量を調節する	オリフイス板、ピトー管（又はその他の風速計）	沈鐘式又はリングバランス式流量計あるいは適当な風速計（指示、記録）	送風管又は空気変更弁入口（自然通風の場合）	自然通風の場合には適当な計測方法の研究を要する
3	A	炉 天 井 温 度	天井の熔損を防止しつつ最高の炉内温度に保つ		輻射又は光電高温計（指示、記録）	大天井中央部内面	計測方法に研究を要する
4	A	ガス蓄熱室温度	変更時間の測定と各蓋熱室温度の比較	Pt-Pt-Rh 熱電対	熱電温度計（指示、記録）	蓄熱室上部中央	熱電対保護管（耐熱鋼管又は熔化ムライト管の如きガスを透過せぬもの）および吸引式温度計の研究を要する
5	A	空気蓄熱室温度	同 上	同 上	同上又は輻射高温計（指示、記録）	同 上	同 上
6	A	炉 内 圧 力	適正炉内圧による操業	天井にガス管を挿入して計測	沈鐘式又は隔膜式微圧計（指示、記録）	大天井中央部	

(Table 1 つゞき)

番号	重要度	計測すべき値	目的	発信方法	計器	測定位置	備考
7	A	排ガス分析	適正空気量の調節		オルザット式 ガス分析装置 により CO ₂ , O ₂ , および CO を定量	昇り上部で試 料採取	信頼性のある 自動分析装置 およびダスト 捕集器の研究 を要する
8	A	重油流量	炉況に応じて炉内温 度を調節し重油消費 を節約する		容積式又は面 積式流量計あ るいは差圧式 流量計(指示, 記録, 積算)	分岐管前	最低レイノル ズ数限界以上 で使用すること 重油が水分を注 意を要する
9	A	重油温度	使用する重油に適 した予熱温度を保持 する		抵抗又は膨脹 温度計(指示, 記録)	加熱器入口, 出口およびバ ーナー前	
10	A	重油圧力	霧化に必要な重油圧 力の保持		ブルドン式圧 力計(指示, 記録)	分岐管前およ びバーナー前	
11	A	一次空気圧力	霧化に必要な空気圧 力の保持		同 上	同 上	
12	B	ガス圧力	ガス圧力監視用		沈鐘式, リン グバランス式 またはU字管 圧力計(指示)	ガス流量測定 位置	
13	B	ガス排気道温度	蓄熱室の熱回収状況 測定および変更時間 記録等	アルメル・ クロメル, 熱電対	熱電温度計 (指示, 記録)	ガス排気道中 央部	
14	B	空気排気道温度	同 上	同 上	同 上	空気排気道中 央部	
15	C	燃焼用空気圧力	燃焼用空気量の補正		沈鐘式, リン グバランス式 又はU字管圧 力計(指示)	送 風 管	
16	C	ガス排気道圧力	吸引力の監視		同上(指示, 記録)	ガス排気道	
17	C	空気排気道圧力	同 上		同上(同上)	空気排気道	
18	C	一次空気流量	適正霧化用空気監視		浮子型流量計 (指示, 記録)	分岐管前	
19	D	ガス温度	ガス流量補正	アルメル・ クロメル, 熱電対	熱電温度計 (指示, 記録)	ガス流量測定 位置	
20	D	大煙道温度	燃焼状況判定, 煙道 状況察知	同 上	同上(同上)	煙 突 前	地下水位の高 い工場ではA
21	D	大煙道吸引力	吸引力の調節, 煙道 状況察知		沈鐘式又はリン グバランス 式圧力計(記 録)又は傾斜 管圧力計(指 示)	煙 突 直 下	
22	研 1	ガスカロリメ ーター	ガス発熱量を自動的 に測定記録する				
23	研 2	火焰輻射計	炉内火焰の輻射熱量 を測定する				

Table 2. 熱管理用計器価格表 24~3~31
日本電気計測器工業会

品名	種	類	価格
流 量 計	低圧リングバランス式	流量指示計	27,000
	〃	指示積算計	37,000
	〃	带状記録計	54,000
	〃	積算計付	64,000
	機械式U字管浮子型	流量指示計	41,000
	〃	指示積算計	51,000
	〃	带状記録計	62,000
	〃	積算計付	72,000
	電気誘導式	流量指示計	52,000
	〃	積算計付	62,000
〃	記録計	59,000	
〃	積算計付	69,000	
(註) 同上計器は何れもオリフイス板コンデンサー等は含まず			
熱電 高温 度計	携帯型熱電高温指示計		8,900
	机上型		9,700
	緑型	(6点スイッチ付)	18,000
	同上小型パネル型	但しスイッチなし	16,000
	熱電高温指示調節計	(1点用)	30,000
	熱電高温記録計	(1点用)	37,000
同		(6点用)	
抵 抗 温 度 計	携帯型抵抗温度指示計		12,000
	机上型		13,000
	緑型		11,000
	同上	(6点スイッチ付)	24,000
	同上(小型パネル付)	スイッチなし	22,000
	抵抗温度指示調節計		33,000
	抵抗温度記録計	(1点用)	41,000
	同	上	(6点用)
(註) 温度計は本体のみにて熱電対又は抵抗管を含まず			
光高温計			㊦
輻射高温記録計一式			80,000
CO ₂ 計	電気式炭酸ガス記録計	(1点式)	100,000
	携帯式炭酸ガス指示計		40,000
通風 計	通風計	(6点式)	60,000
	傾斜管型通風計一点		5,000

製品であつたが製鉄用としての特種品の要望に対しこれが製作に協力された。すなわち、

(1) 炉内圧力記録計

-2.5~+2.5mmH₂O の微圧の測定ができる沈鐘式圧力計

(2) ガス流量記録計

静圧は高いが測定差圧の小さい(5 mm H₂O) 流量計

(3) 重油流量計

面積式やオーバル歯車式流量計

等の計測器類が製作されるようになった。

また使用者である製鋼メーカーも Table 1 に記載されている研究課題の計測法を解決するために努力した。

(1) 自然通風の場合における空気流量の測定を熱線

風速計で計測すること (熱計器専門委員会資料 No. 52 25~2)

(2) ガス温度の測定に吸引式温度計を用いること (資料 No. 69. 25~9)

特にガス温度の測定結果の発表により従来熱電温度計にて測定したガス測度が相当の誤差があることが認識され、それ以後のガス測度に対しての数値発表には必ず熱電温度計によるものか、吸引式温度計によるものかを明記されるようになった。

前にも述べたように炉内圧が正圧に保つと、いきおい炉の天井温度が負圧操業の場合より高温となるので天井煉瓦の磨損するおそれがあるので光高温計にて点検することが必要となり、天井煉瓦限界温度保持のため燃料および燃焼用空気量の調節を行わねばならないようになる。このように一つの計測を実施するとそれに関連する他のものも計測化を行わなければならなくなり、炉操業の合理化が次第に充実されるようになるのである。昭和25年4月には熱経済技術の現状を明らかにするとともに技術の交流を深めるため通産省鉄鋼局長よりの依頼によつて鉄鋼熱経済技術調査団が全国27主要鉄鋼工場に派遣され、工場現場の実地調査と指導などが行われ、この結果は対象工場に対して極めて大きな刺激を与え、熱経済の重要性を再認識し、計測操業についての認識を深めるにいたり、25年半頃には各社の生産設備の計測化が進展し、計測操業は最早一般常識とさえなつたのである。

以上のように生産工程中の部分、局所においてその状態を示す諸種の値を計測することが実施されるにつれ、これら諸条件の変化を絶えず適確に把握して作業の調整を適確に行わさせるためには、正しい計測理論に基いて配置、整備された計測器類が常に正しい指示値を保つように運転されなければならない。

そこで計器専門委員会では生産設備に取付けられた各種計測器の保守、修理および検定法の指導書を作成することになり、保守修理小委員会を設け24年以降審議が行われた。この小委員会において作成された各種計器別の指導書は理論的または概論的のものではなく作業現場技術者の実際の応用を目的としたものである。鉄鋼界は勿論のこと他の産業界においても実際の好指針となるので各所より資料配布の要望が続出する状態であつた。

このように計測技術の活用によつて各種の量や条件を正確に測定するという思想の普及により計測技術の向上は逐次各方面において実を結び各種の研究結果の発表が行われるようになった。すなわち、

(1) 輻射高温計による平炉蓄熱室の測温 (24~8)

- (2) 重油流量測定における面積式流量計の粘度密度変化に対する補正 (24~9)
- (3) 傾斜管式マノメータの使用液について (24~9)
- (4) 重油流量計としてのオーバル式、面積式の精度で (24~12)
- (5) 吸引式高温計によるガス温度の測定 (25~9)
- (6) 平炉における CO₂ 計の利用 (25~11)
- (7) 光高温計検定用小型標準電球の性能 (25~12)
- (8) 光電管高温計による熔鋼温度の測定 (25~12)
- (9) 光高温計の測温器の適性試験 (25~12)

などで、これらの研究発表によつて各工場においては計測法の改善または活用によつて計測技術はますます向上してきた。

熱経済技術部会計器専門委員会は、24 年以來調査研究してきた熱管理用計測器、その取扱方法、取付方法、保守、修理、検定、計測運転など熱管理を主目的として具体に取りまとめ、これを広く公表し、現場技術者の参考に供するため、熱経済技術要覧計測篇として刊行することになり、昭和 28 年 11 月に発行された。本書の内容は日常現場での経験者の永年の経験、計測製造関係者や学界の研究者の知識によつて、極めて具体的に、豊富な資料を盛り、内外にその類を見ない優れたもので、さらに他の産業界にとつても好参考書であり、好指針となるものであつて、鉄鋼界の生んだ最近のすぐれた成果の一つに数えられる。

政府は計測の規準を定め、適正な計測の実施を確保するため昭和 26 年 6 月に法律第 207 号を以つて計量法を公布した。

産業の復興と共に計器製造業界も海外技術の導入により各種の新規製品を売出すようになり、特に電子管自動平衡計器、自動制御装置の出現は我国工業測定に著しい進展をもたらした。即ち低い運転コストで標準化された良品の製品を生産するための設備と工程に対する考え方が一変したのである。

例えば製鋼作業において良質の鋼を短時間に能率よく精錬し、しかも炉の寿命を長くするために各種の自動制御装置が用いられるようになった。このことは従来燃料として石炭、発生炉ガス、コークス炉ガス、高炉ガス等を使用していたものが重油専焼に切換えられるにおよび一層自動化が容易に行われることにもあつた。平炉の自動化としては、

(1) 炉内圧力の制御

炉内よりの燃焼ガスの排送を加減して炉内圧力を一定に保持し、炉内雰囲気安定をはかる方法。

(2) 天井温度の制御

熔鋼の温度を自動調節すれば直接的であり、品質向上の点からも重要であるが熔鋼温度を連続的に測定する方法に難点がある。そのため間接的ではあるが炉天井の損傷防止も兼ねて天井煉瓦表面温度(天井中央部、両ポート側の 2ヶ所、または中央と両側の 3 点の平均値をとるもの、3 点の最高点をとるもの等)により燃料供給量を加減する方法。

(3) 燃料と燃焼用空気の比率制御

燃焼用空気量を燃料供給量に対して常に一定の比率で保持させ、空気過剰率を炉の操業に最も適当な値にする方法。

(4) 自動変更

燃焼用空気の蓄熱室における予熱効果をあげるために、左右蓄熱室の切換えをギッターの温度差と時間とによりバーナおよび変更弁を自動的に変更する方法。等が実施されるようになった。

以上のように官庁、業界、計器製造業者の協力により終戦当時夢想だもすることのできなかつた程急速な計測技術の進歩を見るに至つたのである。

最近の情勢では、国際競争に耐えるため、生産費の低減、品質の向上のために今後益々計測管理、自動制御方式の採用がさらに一層盛んになるであろう。この傾向は主要な工業国において一致した現象である。

II. 材質改善のための計測

材質改善のための計測というと極めて莫然としているが、差当り鉄鋼工業で問題となるのは鋼および原料の成分分析法、結晶粒度測定や非金属介在物測定を含めた金相学的測定法、材料力学的測定法、製鉄、製鋼、圧延、熱処理作業などにおける温度測定法等である。ここでは特にその内の温度測定について述べる。

昭和 10 年特殊鋼製造研究及び特殊鋼製造に際して起る欠陥防止の研究を行うため、日本学術振興会内に第 19 小委員会が設けられた。この委員会において研究方針を定めるに当り、良質な特殊鋼を得るためには精煉炉内における化学反応を徹底的に解析して精煉法の改良を計ることが先決問題であるという結論に達した。所が化学反応を知るために、まず反応温度を精確に測る必要があるが、精煉炉内の温度は通常 1500°C 以上であり当時は工業的な意味におけるこのような高温の正確な測定法が未だ確立していなかつたので、製鋼現場において日常作業として精煉時の測温を実施している所は殆んど何処にも無かつた。其処で 19 小委員会では製鋼方法の改良をす

るためにはまず製鋼温度測定の研究を行わなくてはならないという結論になり、この目的を以つて 19 小委員会内に新たに第 2 分科会が設けられ昭和 11 年 3 月その第 1 回会合を開いた。爾來約 10 年、終戦直前昭和 20 年 6 月には第 29 回会議を開催したが、この間光高温計校正用標準電球の製作と普及、「光高温計による 熔鋼温度測定法」制定、熔鋼輻射率の決定、W-Mo, Fe-W 等の熱電対による 熔鋼温度測定方法の研究と製鋼炉内温度分布の測定、白金代用熱電対の研究、製鋼用コバルト硝子の研究と調査等戦前、戦時の製鋼作業の改善に極めて大きな貢献をした。

斯くして終戦を迎えると共に、我国の製鉄鋼工業も従来の兵器のための特殊鋼生産中心の態勢から民需のための普通鋼生産へと大きく切り換えざるを得ないこととなった。兵器は主として特殊鋼に依存するが特殊鋼の製造は仲々難しく、特に良好な歩留を得るためには高度の技術が要求される。従つて生産には常に研究者の協力を必要とし温度測定などの計測技術も特に重視される所以である。然も非常の戦時下にあつては、至上命令として量と質との双方の要求に応じなくてはならずかつこの事が経済上の原則を無視して行われるので、各製造者とも費用を惜しまずに技術の改善研究に力を用いた。(尤も戦争末期には徴兵による人員の不足と国家経済の無計画さに基く資材の窮屈化のため思うに任せなかつたが) 戦前戦時中における製鋼温度測定の研究に関しても例外ではなく、比較的短期間に国内の各製造者を通じてあの程度にまで技術水準を高めることができたというのも、前述のような国家的要求があつたからこそということもできる。

さて戦争が終つて普通鋼生産を主とするとなると様子は全く異つてくる。普通鋼の製造は特殊鋼の場合と異なり、製造過程における困難は比較的少い。従つて技術的研究もむしろ如何にしてコストの低い製品を量的に生産するかという方面により多く向けられることとなる。終戦で虚脱状態にあつたわが鉄鋼工業界が、国内復興用の民需と輸出産業とを旨として立上ると共に、日本学術振興会第 19 小委員会一後に改組して学振鉄鋼第 19 委員会となる一を中心とした鉄鋼計測技術の研究陣も新たに目標を切換えて再出発する事になつた。

斯くした第 19 委員会が戦時中行つてきた研究の内、戦後の情勢に適応しないもの(たとえば代用熱電対の研究等)は中止する事となり、また継続して研究する必要は認められるが差当り生産上の客観情勢がそこ迄熟さないもの(たとえば炉内鋼浴温度測定法の研究等)は暫時

見合せの已むなきに至つたのである。(尤も後者については、数年後において四囲の事情の変化と共に再び活発に取上げられ、戦前戦時にも優る情況となつたことについては後述する如くである。)

然し中には戦時中の研究で戦後も引続き行われ、或いは形を変えて最初の目的とはちがう方面に発展したのも少なからずある。その第一の例としては光電管高温計を挙げることができる。光電管高温計は戦時中当時の技術院からの試作命令により八幡製鉄戸畑工場の連続圧延機に装備されていた米国製品を手本として国内の H 社が試作に着手し昭和 18 年 11 月第 1 回試作品を完成した。この第 1 回試作品の成績を参考にして引続き第 2 回の試作が進行している内に終戦を迎えることとなつた。H 社ではこのようにして終戦後になつて第 2 回の試作品を数台完成したが、何分鉄鋼の生産量も戦時中に比してガタ減りとなつたため光電管高温計のような高級計器の注文も無い儘に、僅かに八幡製鉄の平炉や日本鋼管川崎製鉄所の平炉に試験的に取付けて炉壁や鋼浴の温度を測定したり、また鋼管の熱間加工時における連続温度測定の実験等に用いられたりしている程度であつた。所が [I] で述べた燃料節約のための計測操業が鉄鋼業界に奨励されるようになるにおよび、はからずも光電管高温計の持つ種々の利点が改めて認識しなをされ、光電管高温計は鋼の材質改良のための計測器、即ち鋼板圧延温度の連続測定記録や鋼管の熱間加工温度の迅速測定用としてのみならず、平炉天井温度の連続測定や加熱炉炉内温度の測定等の所謂熱管理用計器としても数多く使用されるようになった。即ち戦時中の研究が戦後において更に発展して実を結んだ好例というべきである。

光電管高温計の場合とは多少違ふが、コバルトガラスの研究も戦時中の目的から外れて多少異つた方面に発展した。コバルトガラスが第 19 委員会に取上げられたのは昭和 15 年頃で、その最初の動機は、当時製鋼会社に納入されていたコバルトガラスの色調が不揃いで統一を欠いているため、作業員がコバルトガラスを用いて鋼浴の温度や炉内の温度を判定する際判断に狂いを生じて困るので何とか検査方法を確立してコバルトガラスの色調を統一したいということであつた。この目的に沿うために全国の各工場についてそこで使用しているコバルトガラスの色調や、また作業員がコバルトガラスを通して肉眼で温度を判定する場合の基準等を調査したが、その結果は区々で首尾一貫した結論が得られなかつた。そこでコバルトガラスの研究は一転して、コバルトガラスを通して見ることにより何故に温度の判定が可能であるか、

またどんな色調のコバルトガラスが温度判定の目的に最も適しているかという点に向けられ、その結果副産物としてコバルトガラスによる温度判定の理論を応用した新しい色温度計も生れるに至った。このようにして研究が進められた結果、コバルトガラスの規格を一応精煉用2種、造塊用2種に制限して統一することに成功し、簡単な受け入れ検査方法についても案が纏った。

翻つて考えると、元来コバルトガラスを使用する主な目的は、高温の物体から強い輻射線に対して眼を保護することにあつたのであつて、これによつて温度を判定するなどということはむしろ副次的に生じた用途に過ぎない。この観点からすると、温度測定に適したコバルトガラスが果して眼の保護という点についても満足すべき役割を演じているかどうかということが重大な問題になる。コバルトガラスに関する戦後の研究は主にこの点に重点がおかれて進められた。即ち温度判定に好都合であるという条件を崩さずして然も眼の保護に適したコバルトガラスを作るということである。眼に有害な熱輻射線としては紫外線と赤外線との両方が挙げられる。強い紫外線が直接眼に当たると結膜炎等の炎症を起し眼に痛みを感じるので、紫外線の害については一般によく認識されており普通の保護眼鏡も紫外線はよく防ぐように作られている。所が赤外線の方はかなりの強さのものが直接眼に当たつても直ちに炎症等を起すことがなく、痛みを感じないので、普通一般には赤外線の害は看過され易いが、実は赤外線の害は紫外線以上に恐るべきもので、眼が長期に亘つて赤外線の照射を受けると白内障、緑内障等を惹起し失明の危険のあることが医学的に確められている。

第19委員会において既製のコバルトガラスの透過光に関する分光光度曲線を検討した結果、紫外線の防禦に関しては多少の例外を除いては概ね満足すべき程度であるが、赤外線の防禦については必ずしも充分といえないものが多いという結論に達した。そこでガラスメーカーと製鋼工場の使用者とが協力してコバルトガラスの新しい成分のものについて研究した結果、色調を変えないでしかも安全な程度にまで紫外線、赤外線を遮断し得るコバルトガラスの試作に成功することができた。更にこの問題から派生してガス溶接用眼鏡についても同様な調査をした所、紫外線の透過率は何れも殆んど零に近い値であるにも拘らず、赤外線については意外な程透過率が大きくこの点について改良する必要のあることが判明した。

熔鋼温度測定の研究に関しては、終戦後は前述の如く特殊鋼の需要も殆んどなくなり、精煉技術上から見た必要性が減つたので、戦前戦時のような活気を失い、唯僅か

に戦時中からの研究の継続として Fe-W 熱電対による研究、熔鋼の表面状態と輻射率との関係についての研究等が一部の工場で細々と続けられているに過ぎなかつた。

所が昭和25年半ば頃朝鮮事変が勃発にするにおよび、我が鉄鋼工業界には俄然好景気時代が訪れ、完全操業によつても消化し切れない程の註文の殺倒のために更に設備の拡張が相ついで行われるといつた具合で非常な活況を呈してきた。このような多量の生産を強行するためにはどうしても精煉技術を改良して歩留率の向上を計らなくてはならない。特に戦後の自由経済下にあつては歩留の向上によるコストの低下は企業経済上における至上命令でもある。

偶々この頃製鉄製鋼に関しても外国(主として米国)との間に技術提携が各社で行われ、その結果多くの技術者が外国の工場へ見学乃至技術習得に出掛けた。外国から帰つてきたこれ等製鋼技術者達の一致した報告は、米といわず英といわず独といわず外国製鋼工場では何処でも日常作業として白金熱電対(極く一部では Blowing tube)による鋼浴温度の測定を実施しており、これによつて精煉出鋼温度を適正に加減し歩留の向上や材質の改善を計つているということであつた。この報告が国内の製鋼工場を刺激して鋼浴温度測定の研究が再び各所で盛んにはじめられるようになった。

外国における鋼浴温度測定法研究の歴史を簡単に述べると、既に1930年以前からドイツでは W-Mo 熱電対の研究が行われ1930年代の後半になつてからは熔鋼温度測定用に作られた特殊な色高温計が発明されて一般に普及するに至つた。米国では第二次大戦の数年前に所謂 Fitterer 熱電対と称せられる製鋼用の SiC-C 熱電対が発明され、試験的に諸所の工場で使用されたが、再現性が悪いのと使用中に特性が変化して来るのとで実用化されずに了つた。更に大戦直前になつて所謂 "Blowing tube" と称される輻射高温計式のものが発表され、かなりな程度にまで実用化されるに至つた。一方英国では戦前から鉄鋼協会内の委員会で13%白金ロジウム-白金熱電対に石英管の鞘を被せたものを短時間一数秒乃至十数秒一鋼浴中に浸漬して鋼浴の温度を測定記録する所謂迅速浸漬法について着々と基礎的に地味な研究を続けていたが、それから20年近く経つた今日、世界各国の製鋼工場で行われている鋼浴温度測定法の殆んど大部分がこの英国で始められた迅速浸漬法を採用しているのを見る時、今更の如く英国における着実な研究のやり方とその努力とには敬意を払わざるを得ない思いがある。

斯くして我国で戦後再び盛んになつた熔鋼温度測定法

の研究が、戦前戦時のものと異り、英国式の迅速浸漬式の原理に基いたものであつたことは世界の情勢から見て当然といわなくてはならない。一、二の製鋼会社では米国の計器会社から指示記録計器と組になつた既製品の保護管付き浸漬熱電対の装置を購入して実験を始めたが他の多くの製鋼工場では文献を頼りに自らの手で試作して実験に取掛つた。尤も外国の既製品の熱電対を購入した所でも、保護管付き熱電対の重量寸法等が日本人の体格に合わないものが多いのでその儘使用することができず多少手を加えて用いているようである。此の迅速浸漬型の熔鋼温度測定法において特に重要なのは指示記録計であつて、この方法が世界的に普及したのは応答の速い電子管式自動平衡計器ができるようになったからだといつても必ずしもいい過ぎでは無い。我国でも数年前迄は迅速浸漬熱電対に使えるような電子管式自動平衡電位差計が国産でできなかつたので、研究も思うように進まなかつたが、最近では特に熔鋼温度測定用に設計された計器が国内の数社から売出されており、外国製品に頼る必要は全然無くなつた。炉内に挿入する部分の保護管の構造、先端の黒鉛製 End block の寸法と形態、石英鞘の寸法、熱電対温接点の作り方、炉内への挿入方法と先端の浸漬方法および浸漬時間、石英鞘の取換方法と取付法等に関しては、各製鋼工場において夫々別個に研究して各工場の条件に最も適した構造、寸法、測定法等を定めている。熔鋼温度の測定は今日では既に研究時期を終り実用時代に足を踏み入れている状態で、熔鋼温度計が故障を起すと危くて炉の操業ができないという工場さえあるそうである。また熔鋼温度の測定記録を品質管理のデータとして利用している工場もある。

このように熔鋼温度の測定が日常作業化してくると、管てのように一つの炉内における相対的な温度変化を知ること丈で満足している訳にゆかなくなり、測定値を相互に比較する必要が起つてくる。そこで必然的に熱電対検定の問題が登場してくる訳である。所が製鋼温度に相当する所の $1,500^{\circ}\text{C}$ 以上の温度における熱電対の検定

は、純金属の熔融点を使用するにしても或いは光高温計を使用するにしても、何れにせよ技術的に非常な困難を伴い、製鋼工場で実施するのは不可能である。この点については外国でも同様な問題にぶつかつたと見えて、幾つかの研究が発表されているが、特にその内 1943 年に英国で発表された所謂パラヂウムの Wire method が注目される。これは少量の Pd 線を Pt-Rh-Pt 熱電対の温接点の間に挟んで Pd が熔融すると熱電対回路が切断するようにしたもので、熱電対回路の切断する時の温度が即ち Pd の融点に当るという訳である。Pd の融点は 1552°C であるから製鋼用熱電対の検定用としては丁度お誂え向きである。我国では住友金属工業の製鋼所においていち早くこの方法に着目し検定炉の構造や検定方法について 1952 年に詳細な研究を発表している。現在我国における浸漬用白金熱電対の検定は概ねこの方法によつているようである。

以上は学振製鋼第 19 委員会第 2 分科会を中心として戦後行われた研究の主なものであるが、此外委員会では 2 年程前から熔輻射の問題に関心を持つようになった。現在の多くの製鋼炉が重油や発生炉ガス、コークスガス等の熔により加熱されている以上、これ等の熔の熱的特性は精煉上にも熱経済上にも重大な影響をおよぼすものと考えられるからである。目下の所ではヨーロッパの熔輻射合同研究委員会の報告、特にオランダのイムイデンにおける試験炉についての研究報告を委員が分担して翻訳紹介している程度に過ぎないが追々この方面についても製鋼技術の立場から系統的研究を始めたいものだと願つている。

なお材質検定のための計測の一つの問題として、珪素鋼板の定尺物特性測定の問題が電気学会内の委員会で行われ、品質格付に役だつ段階になつてきた。これは将来生産過程の管理用としても利用されるであろう。これらの材質の特性の計測は迅速化の方向へ進み、結局は生産過程の管理に利用せられるように発展するであろう。