

© 1991 ISIJ

技術報告

日本における 1987 年の製鋼用酸素センサーの使用実績と新しい使用状況

永 田 和 宏*

Use of Oxygen Sensors in Steelmaking Companies during 1987 Year and Their New Uses

Kazuhiro NAGATA

Synopsis :

The number of oxygen sensors consumed by Japanese steelmaking industries in 1987, the objects of use and the reliability of sensors were surveyed. 518 653 pieces of oxygen sensor were consumed in Japan and 157 700 pieces were exported to Taiwan, China and Korea. 26.3% of them consumed in Japan were used in converters, 9.9% in ladles, 53.9% in RH and DH, 5.6% in secondary refining, 3.2% in the tundishes of continuous casting and 1.0% in electric furnaces. Main objects of the uses were almost the same as the results of survey in 1985, that is, the determination of the amount of deoxidizers and the control of aluminium content in steel. Oxygen sensors were also used in converters for the estimation of contents of phosphur and manganese in steel at blow-end. Discussions on the reliability of oxygen sensors and the other technics for determining the contents of elements in steel were made.

Key words : oxygen sensor ; steelmaking ; phosphur content ; sulfur content ; aluminum content.

1. 緒 言

著者らは 1977 年, 1980 年, 1982 年および 1985 年に主要な製鉄会社での酸素センサーの消費本数とその使用目的, それによって得られるメリットを調査した^{1)~4)}. それにより酸素センサーが製鋼技術に与える効果を測定しようとするものである.

消費本数は 1977 年に約 3 万本であったのが 1985 年には 45 万 9 千本に増加した. 1982 年までの消費本数の伸びは普通鋼の連続铸造機による製造の割合 (連铸比率 = 連铸鋼片量/圧延用鋼塊量) にほぼ比例していた. すなわち, 酸素センサーは主に, 溶鋼の脱酸調整と連続铸造用のアルミキルド鋼中のアルミニウムの濃度調整に使われた. 1985 年の調査では粗鋼生産量が 1979 年をピークに徐々に減少し連铸比率も飽和してきているにもかかわらず, 酸素センサーの消費量は年率約 13% 伸びた. その伸びは主に転炉での使用量の増加によっていた. つまり, 酸素センサーは最終的な濃度調整としてよりも, 転炉出鋼直後に投入する脱酸剤量の調整に用いられる割合が増加した. このことは酸素センサーの測定精度が最

終的なアルミニウムの濃度調整に用いるにはまだ不足しており, また, 価格面においても高価であるためであった. 一方, 新しい使い方としては, 転炉における溶鋼中の炭素, リン, マンガン濃度の推定や, 弱脱酸鋼の脱酸調整が行われ始めたことであった.

今回の調査ではこれらの傾向をさらに的確につかむため, 酸素センサーが使用された主な鋼種, および起電力測定成功率と失敗の原因を調査項目に加えた.

2. 調 査 方 法

調査対象会社は鉄鋼一貫製造メーカー 6 社と電炉鋼製造メーカー 8 社, および酸素センサー製造メーカー 3 社である.

調査範囲は各社, 各製鉄工場ごとに転炉, レードル, RH と DH, その他二次精錬炉 (LF, KIP, CAS, AP などの取鍋精錬炉: Table 1 参照), タンディッシュ, 電炉で, プロセス別に調査した.

調査対象期間は 1987 年 1 月から 12 月までである.

調査項目は①酸素センサーの使用本数, ②酸素センサーの種類, ③溶鋼中への挿入方法, ④使用目的とその

平成 2 年 11 月 19 日受付 (Received Nov. 19, 1990)

* 東京工業大学工学部 工学博士 (Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 Ookayama Meguro-ku, Tokyo 152)

Table 1. Number of oxygen sensors consumed in Japanese steelmakers and sold by assembly makers from January to December in 1987.

Company	Work	LD	Ladle	RH, DH	2ndary refining	Tundish of C. C.	EF	Total	Total : Sold
Nippon Steel	Muroran	117 ⁺	172 ⁺	3 910 ⁺				4 199	4 400
	Kamaishi			2 130				2 130	2 600
	Kimitsu	5 155	944	5 326	KIP 764	832		13 021	19 000
	Nagoya			6 200	CAS 8 500			14 700	21 800
	Sakai			5 790				5 790	5 600
	Hirohata	100		4 900	KIP 15 900			20 900	21 000
	Yawata	200		DH 5 520*				5 720	11 000
	Oita			51 200		240		51 440	51 200
N. S. total		5 572	1 116	84 976	25 164	1 072		117 900	136 600
Nippon Kokan	Keihin	28 000	32 000	14 400	AP 1 200			75 600	75 331
Sumitomo Metal Ind.	Fukuyama	32 500		7 500	AP 1 100	2 900		44 000	44 835
	Wakayama			10 800				10 800	8 670
	Kashima	12 000		56 150		250		68 400	72 410
Kawasaki Steel	Kokura	200		VOD 44				244	510
	Chiba	#11 680		9 840				21 520	15 317
Kobe Steel	Mizushima	\$26 000*		11 000				37 000	27 520
	Kakogawa	12 000	1 000*	6 000				19 000	17 110
Nisshin Steel	Others			38 000					2 070
	Kure			7 000*				38 000	37 300
Nakayama Steel		300*		17 210		2 400*		9 700	14 300
Godo Steel		60	12 800*			9 110		39 180	40 680
Chubu Steel Plate			1 133				5 020*	6 153	6 100
Nippon Metal Ind.			30~40					30~40	
Others									19 900
Total in Japan		128 312	48 084	262 920	27 464	15 732	5 020	487 532	518 653
C. S. C. (Taiwan)								38 500	
Baoshan (China)								19 200	
Pohan (Korea)								100 000	
Export total								157 700	
Grand total								676 353	

Sensor type : ⁺ ; Plug type (4 199 pieces) * ; Needle type (60 040) No mark ; Tamman type * ; K-BOP \$; Q-BOP
 KIP ; Kimitsu Injection Process CAS ; Composition Adjustment by Sealed Argon Bubbling AP ; Arc Process

効果, ⑤溶鋼の種類, ⑥起電力測定成功率と失敗の原因, ⑦酸素センサーの改良, である。

酸素センサー製造メーカーへの調査項目は同 1 年間に各鉄鋼製造メーカーに販売した酸素センサーの本数である。

3. 調査結果

3-1 使用本数

各社の製鉄工場の工程別に使用した酸素センサーの本数, および製造メーカーが各製鉄工場に販売した本数を Table 1 に示した。電炉鋼製造メーカー 8 社の内, 表に挙げた 4 社以外は酸素センサーを使用していない。

1987 年 1 年間の国内の酸素センサーの総使用本数は 487 532 本で 1985 年 1 年間の総使用本数 461 110 本より約 2 万 6 千本増加した。酸素センサー製造メーカーの国内各製鉄会社への総販売本数は 518 653 本で総使用本数より約 3 万 1 千本多く, これは総販売本数の 6.0% にあたる。また, 台湾, 中国, 韓国へ輸出された酸素センサーは合計 157 700 本で全販売本数 676 353 本の 23.3% にあたり, 1985 年の 35 100 本, 6.5% と較べて大幅に伸びている。Table 2 には 1977 年から 1987 年までに各製鉄会社で使用された本数および輸出された本

Table 2. Number of oxygen sensors consumed in Japanese steelmakers from 1977 to 1987.

Company	Work	1977 Jan.~Oct.	1980	1982	1985	1987
Nippon Steel	Muroran	1 900	1 800	420	7 200	4 199
	Kamaishi		1 920	1 130	2 800	2 130
	Kimitsu	2 000	32 520	57 720	27 700	13 021
	Nagoya		10 800	8 380	9 600	14 700
	Sakai		12 600	20 700	9 900	5 790
	Hirohata	4 500	6 000	12 110	44 400	20 900
	Yawata	1 600	5 400	8 186	12 200	5 720
	Oita	2 000	88 200	75 414	86 500	51 440
N. S. total		12 000	159 200	184 060	200 300	117 900
Nippon Kokan	Keihin		7 000	44 000	62 400	75 600
	Fukuyama	700	4 000	9 000	47 600	44 000
Sumitomo Metal Ind.	Wakayama	4 500	1 100	5 750	4 500	10 800
	Kashima	670	650	7 500	27 430	68 400
	Kokura		50	100		244
Kawasaki Steel	Chiba	5 000	240	7 200	2 030	21 520
	Mizushima	1 000	1 200	6 000	28 230	37 000
Kobe Steel	Kakogawa	2 000	3 800	7 100	9 600	19 000
	Others		2 150	3 850	320	
Nisshin Steel	Kure			14 000	30 000	38 000
	Nakayama Steel		6 000	9 000	12 200	9 700
	Godo Steel			25 500	33 600	39 180
	Chubu Steel Plate					6 153
	Tokyo Steel Manuf.				800	
	Others		80	345	100	30~40
Total in Japan		25 870	185 510	323 405	459 110	487 532
C. S. C. (Taiwan)					30 100	38 500
Baoshan (China)					5 000	19 200
Pohan (Korea)						100 000
Export total					35 100	157 700

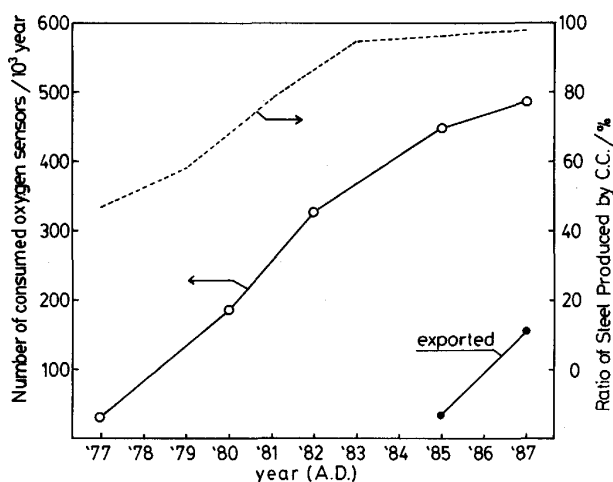


Fig. 1. Changes of the number of oxygen sensors consumed for steelmaking during 1977 and 1987, comparing with the ratio of steel produced by continuous castings.

数を示した。また、Fig. 1 には 1977 年以来的の総使用本数を連铸比率と共に示した。1983 年までは連铸比率と共に酸素センサーの使用本数は増加してきた。その後は連铸比率が 97.3%⁵⁾ とほぼ 100% に近づき一方では粗鋼生産量は増加していないにもかかわらず、酸素センサーの使用本数は増加してきた。

総使用本数の内訳は新日本製鉄(株)が 24.1%、日本鋼管(株)が 24.5%、住友金属工業(株)が 16.3%、川崎製鉄(株)が 12.0% となっており、1985 年と較べると新日本製鉄(株)では 43.6% から 24.1% と使用本数はほぼ半減している。

電炉鋼製造メーカーでの使用本数はやはり多くない。製造鋼種が少ないので一度生産技術を確認すればルーチン作業になり、酸素センサーの使用はコストアップになる。東京製鉄(株)では LF 操業でカントバック分析とコンピューター制御の組合せでコントロールしている。また、炭素、硫黄、アルミニウムのセンサーが要求されている。

3.2 精錬工程別の使用本数

Fig. 2 は精錬工程別の使用本数をグラフに表し、1985 年の実績と比較したものである。半分以上の 53.9% は RH, DH で使用されており、前回調査の 51.9% と較べて本数、割合ともに増加している。転炉では 26.3% が使用されており、これも前回調査より増加している。一方、2 次精錬と連続鑄造のタンディッシュでの使用量が減少した。また、電炉鋼製造メーカーでは新たに電気炉での使用が報告されている。

酸素センサーの使用本数が顕著に増加しているのは

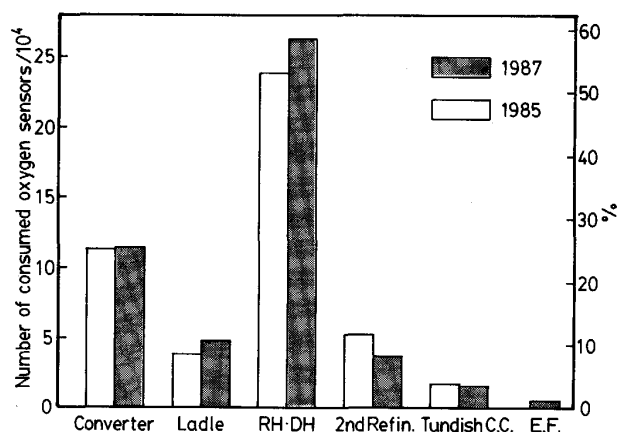


Fig. 2. Number of oxygen sensors consumed at converter, ladle, RH-DH, tundish of continuous casting in 1985 and 1987.

Table 3. Number of oxygen sensors consumed at LD converters in Japanese steelmakers in 1985 and 1987.

Company	Work	1985	1987
Nippon Steel	Muroran	500	117
	Kimitsu	18 400	5 155
	Hirohata	7 200	100
	Yawata	0	200
	Oita	18 900	0
N. S. total		45 000	5 572
Nippon Kokan	Keihin	7 800	28 000
	Fukuyama	34 600	32 500
Sumitomo Metal Ind.	Kashima	0	12 000
	Kokura	0	200
Kawasaki Steel	Chiba	0	11 680
	Mizushima	23 100	26 000
Kobe Steel	Kakogawa	0	12 000
	Others	200	0
Nakayama Steel		600	300
	Godo Steel	2 000	60
Total		113 300	128 312

RH, DH である。一方、RH, DH および 2 次精錬炉で処理された転炉鋼のいわゆる 2 次精錬比率は 1985 年と較べ約 8% 増加し 71.7% になった⁶⁾ がセンサーの使用本数は変わっていない。

各社ごとに精錬工程別の使用本数を 1985 年の実績と比較してみると、新日本製鉄(株)が特徴的に変わっている。Table 3 に示すように、LD での使用本数が 1985 年に 45 000 本だったのが今回の調査では 5 572 本に激減している。一方、日本鋼管(株)京浜製鉄所、住友金属工業(株)鹿島製鉄所、川崎製鉄(株)千葉製鉄所、(株)神戸製鋼所加古川製鉄所の LD での使用本数が増加している。

Table 4. Methods, objects, kinds of steel and % of successful measurement for using oxygen sensors in steelmaking processes.

Company	Work	Converter		Kinds of steel	% ³⁾ of success. measure
		Methods	Objects		
Nippon Steel	Muroran	DeQ control	Al amount, Inclusion control	Weld. ¹⁾	80 ⁺
	Kimitsu	Blow-end, automation		Low C ²⁾	94.1
	Hirohata	Blow-end, automation		Low C	90
Nippon Kokan	Yawata	Blow-end	Test		90
	Keihin	In & after blowing, automation	Al amount, P & Mn control		98
	Fukuyama	Blow-end, automation	Al amount, P & Mn control		>90
Kawasaki Steel	Chiba	Tapping, automation	C, P, Mn control		93.9
	Mizushima	Tapping, by hand	Al amount, P & Mn control		94*
Sumitomo Metal Ind.	Kashima	Blow-end	Al amount, C control		90~95
	Kokura	After blowing, by hand	Al control	Low C	80
Kobe Steel	Kakogawa	Blow-end, automation	Estimation compos., Rapid tap.	Low C	98*
Godo Steel		Sublance	Test		
Nakayama Steel		Sublance, automation	DeQ control	Rimmed	92*

1) Addition to S free cutting steel 2) Capped steel, Al and Al-Si killed steel 3) No mark means one-end closed type electrolyte + Plug type

* Needle type # One-end closed type and needle type

Company	Work	Ladle & secondary refining		Kinds of steel	% ³⁾ of success. measure
		Methods	Objects		
Nippon Steel	Muroran	CAS, in operation	DeQ control	S free cutting steel	80 ⁺
	Nagoya	Automation	Al control	Al killed steel	97
	Kimitsu	KIP, in rest, automation	DeQ control	Capped (ultra low C)	
	Hirohata		Al control, T. Fe	Al killed steel	94 : Q>50 [§]
Nippon Kokan	Keihin	In bubbling, automation	O & Al control	Si-Mn DeQ steel	83 : Q<50 [§]
		AP, Ar bubbling, automation	Q control	Si-Mn DeQ steel	95
	Fukuyama	In operation, automation	Al control	Ultra low C steel	95
Kobe Steel	Kakogawa		Test, DeQ control	Capped steel	97~98
Godo Steel		Automation	Q check		95*
Nippon Metal Ind.			Al control		95*
Chubu Steel Plate		By hand	DeQ control	Low C Al-, Al-Si-killed	~95

§ ppm

Company	Work	RH & DH		Kinds of steel	% ³⁾ of success. measure
		Methods	Objects		
Nippon Steel	Muroran	In operation	DeQ control, time save	CGC ⁴⁾ , ultra low C steel	90~95 ⁺
	Kimitsu	In & after operation, automation	Al control	Low C Al- or Si-killed	90.1
	Nagoya	In operation	Al control	Al-killed steel	97
	Sakai	In ladle, automation	DeQ control		>95
	Hirohata	In operation, automation	DeQ control	Ultra low C steel	
	Yawata	DH, in ladle, automation	DeQ control	Al-killed steel	95*
	Oita	In operation, automation	DeC control		95
Nippon Kokan	Keihin	In operation, automation	Al control	Ultra low C steel	88
	Fukuyama	Before & in operation	Al control	No-DeQ steel, ultra low C steel, High Q steel	95
		After operation, automation	Q control		
Kawasaki Steel	Chiba	In operation, automation	DeQ control		98.0
	Mizushima	In operation, automation	Al amount		97
		Flushing, by hand			
Sumitomo Metal Ind.	Kashima	Before, in & after operation by hand, automation	Al control		90~96
	Wakayama	In operation, semi-automation	Al control		100
	Kokura	VOD, Ar bubbling, automation	Al control	Cr-Mo steel	100
Kobe Steel	Kakogawa	In operation, automation	DeQ control	Low C Al-killed steel	98
Nisshin Steel		Automation	Al control		
Godo Steel		Automation	Al amount		99
Nakayama Steel			Q control		
		Set by hand, automation	Al & inclusion control	Soft DeQ steel	95

4) CGC : Commercial Grade Casting steel

Company	Work	Tundish of C. C. & electric furnace		Kinds of steel	% ³⁾ of success. measure
		Methods	Objects		
Nippon Steel	Muroran	O ₂ meter, continuous	P _{O₂} , leak detect	Low C Al- or Si-killed A part : low Al steel	
	Kimitsu	In casting, by hand	Supress pores		95
Nippon Kokan	Oita	By hand	Al control		97
	Fukuyama	BLCC ⁵⁾ , by hand, cooling stand	Superss blow		95
Sumitomo Metal Ind.	Kashima				97
Godo Steel		By hand	Feed back to RH	Soft DeQ steel	97*
Nakayama Steel		By hand	Q check, Stabilize C. C.		90*
Chubu Steel		EF, end-oxidation, by hand, slag-tap-hole	Amount of oxidizer		

5) BLCC : Bloom Continuous Casting

3.3 酸素センサーの使用法と目的

Table 4 には精錬工程別に酸素センサーの溶鋼への挿入方法と目的、主な鋼種がまとめてある。挿入方法は前回の調査とあまり変わらない。すなわち、転炉では吹止め時、あるいは出鋼時にサブランスで自動測定している。RH, DH では溶鋼の環流中に自動で測定されている。タンディッシュでは手動で行われている。

酸素センサーを使用する目的は大きく分けて2とおりある。一つは転炉からの溶鋼の脱酸を行うための脱酸剤の量を溶鋼中の酸素濃度から決定するために酸素センサーを用いる場合であり、もう一つは RH, DH で溶鋼中のアルミニウム濃度を調整するために用いる場合である。後者の場合は $2\text{Al} + 3\text{O} = \text{Al}_2\text{O}_3(\text{s})$ の平衡反応を利用し、酸素センサーで溶鋼中の酸素活量を測定することによりアルミニウム濃度を推定しようとする方法である。主な鋼種は低炭素濃度あるいは極低炭素濃度のアルミキルド鋼や Mn-Si 脱酸による弱脱酸鋼である。

この他、転炉では炭素、りん、マンガンの濃度の推定が行われている。これは前回調査では日本鋼管(株)福山製鉄所で主に行われていたが、今回調査では同社京浜製鉄所や川崎製鉄(株)千葉、水島両製鉄所、住友金属工業(株)鹿島製鉄所で行われており、より一般的な技術になってきたことが分かる。

3.4 起電力測定成功率と失敗の原因

Table 4 の右端の欄にセンサー使用における測定成功率を製鉄所および精錬工程別に示した。加重平均では転炉で 94.2%, RH, DH で 94.7%, レードルと2次精錬で 93.9% と工程で顕著な差は見られず、約 94(±4)% になっている。この割合は総販売本数に対する総使用本数の割合に良く一致している。このことは製鉄会社から報告された本数はうまく測定できた場合についての結果であると考えられる。注目されるのは新日鉄広畑製鉄所の2次精錬工程の報告で、溶鋼中酸素濃度が 50 ppm を境にしてそれ以上では 94%, 以下では 83% と低濃度での成功率が悪くなっている。失敗の原因は起電力の不安定である。

Table 5 には測定失敗の原因と報告してきた製鉄所の数を示した。全体として見ると一番多いのは起電力の不安定 (Unstable EMF) である。起電力はセンサーを溶鋼に浸漬後数秒でピークに達しその後少し低下して一定値を示し約 10 s で測定を終了する。この一定の起電力が出ない場合は起電力不安定としてデータとして採用されない。しかし、センサーの出力は計算機に入力され、自動的に代表値を読み取る方法が一般的なので、波形の良し悪しは人が判断する以外に無いのが問題である。

Table 5. Causes of failure in measurements of oxygen content in steel by oxygen sensors.

Causes	Number of works*				Total
	Converter	Ladle	RH-DH	Tundish	
Bend of lance	1				1
Bad installation	4	2	3	2	11
Breakage	2		2		4
Broken wires	2		1		3
Unstable EMF	6	2	8	3	19
Touch with slag	2		1		3
Move sensors			1		1
Shallow dip		2	3		5
Bad assembly		1	1	1	3

* Including the plural answers by some works

次いで多いのは装着不良 (Bad installation) である。この場合はコネクターでの接触不良を起こし、データは取れない。これは手動であれ、自動であれセンサー装着時のミスでありセンサーそのものの問題ではない。このようにして見るとセンサー取扱い上の問題が多いことが分かる。すなわち、ランス曲がり (Bend of lance)、破損 (Breakage)、断線 (Broken wires)、スラグに接触 (Touch with slag)、センサーの位置移動 (Movement of sensor)、浸漬不良 (Shallow dip) である。

各工程別に見ると転炉ではサブランスを用い自動装置でセンサーを溶鋼に浸漬しているので、起電力不安定や装着不良の他、ランス曲がりや破損、断線が顕著である。新日本製鉄(株)君津製鉄所の報告では LD において測定に失敗した 5.9%, 424 本の内訳は、ランス曲がり 2.8%, 装着不良 2.1%, 破損 0.7%, 断線 0.2% である。一方、レードルや RH, DH, タンディッシュではセンサーを手動で溶鋼中に浸漬する場合があるので、浸漬深さが浅くて失敗する例が多い。

センサー自体に関係する問題は起電力の不安定とセンサーの不良 (Bad assembly) である。

4. 考 察

4.1 転炉中成分濃度の推定とセンサー使用本数の変化

転炉では吹錬の終点における溶鋼中の炭素、りん、マンガンの濃度の推定に酸素センサーが用いられている。成分を精度良く推定できれば吹錬終了と同時に溶鋼の温度低下を見込まずに済む。したがって、出鋼温度を低く設定でき転炉操業費の低減につながる。これらの溶鋼中の成分の推定技術については 1989 年刊行の日本学術振興会製鋼第 19 委員会製鋼センサ小委員会報告⁷⁾に鉄鋼各社の方法が紹介されている。

基本的な推定方法は、転炉へのインプットとアウトプットによるマスバランスとスラグ/メタル間の平衡分

配係数から溶鋼中の炭素，りん，マンガン濃度の推定を行う。スラグ/メタル間の分配平衡はスラグの酸素ポテンシャルに支配されており，したがってスラグ中の (Fe_2O) 濃度を推定しなければならない。この推定に各社独自の方法が開発されている。

まず，酸素センサーを用いる方法である。サブランスに装着した酸素センサーで溶鋼中の酸素濃度と温度を測定し，それらの値とスラグ組成や塩基度 (CaO/SiO_2) からスラグ中の (Fe_2O) を求める。日本鋼管(株)，川崎製鉄(株)，住友金属工業(株)，(株)神戸製鋼所はこの方法によっており，その精度はたとえばりんの場合で $\pm 0.003\%$ である。したがって，これらの鉄鋼会社では LD での使用本数が急増したと考えられる。

次に，マスバランスから (Fe_2O) 濃度を推定する方法である。日新製鋼(株)は吹止め直後に酸素センサーを溶鋼に浸漬するとスラグの泡立ちのために起電力波形が不安定になったと報告している。1, 2 min 後スラグが鎮静化してから測定すると安定な起電力が得られたが，迅速出鋼には間に合わなかった。そこで，酸素センサーを使わないで成分濃度を推定する方法が開発された。すなわち，操業条件から重回帰式を作り吹錬終点での温度とスラグ中の (Fe_2O) 濃度を推定し，マスバランスとスラグ/メタル間の平衡分配係数から溶鋼中の成分を推定する。住友金属工業(株)も同様な方法を開発している。

以上に述べた酸素センサーを用いる方法とマスバランスによる方法は，炭素濃度が 0.03 から 0.2% の溶鋼に適用されており，精度的にはりんの場合で $\pm 0.003\%$ 程度である。スラグ/溶鋼間の平衡がどのくらい達成されているかは攪拌条件に依存し，また，マスバランスから推定するスラグ組成は耐火物などの溶損など不確定要素が問題となる。

一方，新日本製鉄(株)は炉内に送入される酸素量と排出されるガス中の酸素量の差から残留酸素量の変化を測定し，これからスラグ中の (Fe_2O) 濃度を決定し，吹錬終点での成分濃度を推定する方法を開発した。この方法によるりん濃度の目標値からの偏差は 0.0015% である。

また，火点での溶鋼の発光分光分析を行い成分を決定する試験も行われた。(株)神戸製鋼所も吹錬中にサンプリングを行い，カントバック分析計で成分濃度を測定し，吹錬終点での成分濃度を推定する実験を行った。新日本製鉄(株)が LD での酸素センサーの使用本数を激減できたのは残留酸素量方式の導入によると考えられる。

4.2 測定の失敗とその原因について

製鋼センサ小委員会報告⁷⁾によると本調査と同じ 1987 年に酸素センサーの精度維持管理状況および測定の失敗とその原因についてのアンケート調査が行われた。精度維持管理状況についてはセンサーとホルダーの接続部，センサー内の熱電対素線と補償銅線との接続部，変換器設置場所等の温度などにはいずれも問題がなく，また測定用計器の精度にも問題が無いと報告している。

測定の失敗率は 3% と報告されており，本調査の 6% と較べると半分である。この違いの理由は不明である。

失敗の原因についてはスラグ等による物理的破損が 0.97% と最も多く，次いで装着不良 0.54%，起電力の波形不良 0.49% となっている。この点でも本調査と異なっている。

5. 結 言

酸素センサーで溶鋼中の酸素濃度を測定することは効率的な操業を行うために重要であり，脱酸剤調整には重要な情報を与える。しかし，成分コントロールに用いる場合にはコスト，信頼性，測定精度にまだ問題があるようである。現状では，一方で酸素センサーを用いない方法が研究開発されている。操業条件を重回帰式で整理しそれに従って操業を時々刻々制御する方式や火点での発光分析等がこれである。成分センサーとしてはジルコニア固体電解質表面に副電極物質を塗ることによって溶銑中のシリコン，りん，クロムの濃度が測定できるセンサーが研究開発され，溶銑脱けい工程で用いられている。溶鋼ではすでにアルミニウム濃度の測定がこのような方法でなされている。これらについては製鋼センサ小委員会報告⁷⁾を参照されたい。

本調査に御協力いただいた次の方々に感謝いたします。(敬称略) 新日本製鉄(株)技術本部 千原罔典，日本鋼管(株)銑鋼技術部 橘 克彦，川崎製鉄(株)技術研究本部 岸本康夫，住友金属工業(株)銑鋼技術部 城田良康，(株)神戸製鋼所技術開発本部 尾上俊雄，日新製鋼(株)呉研究所 沖村利昭，(株)中山製鋼所 馬場恒二，合同製鉄(株)大阪製造所 霜出尚志，中部鋼板(株) 小野 里，東京製鉄(株)技術部 山地 巖，日本金属工業(株)生産管理部 藤崎正俊，太平洋金属(株)八戸製造所 加藤欽之，山陽特殊製鋼(株)技術研究所 浅野鋼一，愛知製鋼(株)第一生産技術部 山田忠政，山里エレクトロナイト(株) 松岡正雄，大阪酸素工業(株)市川工場 妹尾弘巳，川惣電気工業(株)技術研究所 坂口育平。

文 献

- 1) K. S. GOTO: *Steelmaking Processing*, **61** (1978), p. 492
[Chicago, AIME], 後藤和弘: 金属 (1981)6, p. 46
- 2) 後藤和弘: 金属 (1981)11, p. 33
- 3) K. NAGATA and K. S. GOTO: *Trans. Iron Steel Inst. Jpn.*,
25 (1985), p. 204
- 4) 永田和宏, 後藤和弘: 鉄と鋼, **74** (1988), p. 1801
- 5) 鉄鋼界報 (昭和 63 年 6 月 11 日)
- 6) 鉄鋼界報 (昭和 63 年 2 月 11 日)
- 7) 製鋼用センサの新しい展開—固体電解質センサを中心として— (日本学術振興会製鋼第 19 委員会製鋼センサ小委員会編) (1989)