



アラカルト

1983年と1992年に予測した日本の 大量生産鋼の不純物精錬限界濃度の検証

雀部 実

千葉工業大学 工学部金属工学科 教授

Minoru Sasabe

Reconfirmation of The Prediction of Refining Limit of Impurities of Bulk Steel in Japan Predicted in 1983 and 1992

1 はじめに

1983年5月に開催された日本鉄鋼協会第90・91回西山記念技術講座にて、大量生産鋼における不純物元素の工業的精錬限界濃度が西暦2000年におおよそどの程度のものになるのかを予測した¹⁾。すなわち、高炉5社に1950年以降の大量生産鋼の不純物、C、P、S、O、N、Hの濃度下限値の時代変化を調べていただき、その値と西暦の関係が1本の直線となる数学関数として記述できることを見出し、それを西暦2000年まで外挿し予測値とした。この回答をいただいた時点は1982年10月である。このとき得られた回帰関数と外挿値を表1に示した。これを報告した直後に、1本の回帰直線ではなく勾配の異なる2本の直線が交差している、すなわち1ヵ所に折れ点を持つ直線で記述した方がよい、という指摘をいただいた。この折れ点を持つ直線の後半部分を1983年12月に表2のように修正した。この修正は、「鉄と鋼」誌上で行った²⁾。修正を必要とした不純物元素はPとSであった。1本の直線として整理した場合と折れ線として整理した場合の相違は、図3と4中の点線と鎖線で見ることが出来る。

それから約10年後の1992年開催の第143・144回西山記念技術講座で、この推定の検証を行った³⁾。この時も高炉5社に1982年以降のデータの調査をお願いした。このデータをいただいた時点は1991年7月である。このデータを含めて再回帰した結果を回帰式と2000年への外挿値として表3に示した。1983年の推定値と1992年の推定値は窒素以外に大きな差はなかった。

そろそろ世紀末で約20年前の予測がどうだったのかを検証しなさい、というお勧めをいただくことが多くなった。そこで従前と同じお願いを5社にさせていただいた。回答をいただいたのは1998年9月である。この回答と以前の推定値の比較を行う事が本稿の目的である。

表1 1983年5月に算出した回帰式¹⁾

元素	回帰式	2000年への外挿値
C	$\log x = -0.03187y + 64.5308$	6 ppm
S	$\log x = -0.05187y + 103.7056$	1 ppm
P	$\log x = -0.03223y + 65.3605$	8 ppm
O	$\log x = -0.02130y + 43.2502$	5 ppm
N	$\log x = -0.009952y + 21.0374$	14 ppm
H	$\log x = -0.02743y + 54.2236$	0.2 ppm

x : 濃度 (ppm)、 y : 西暦

表2 1983年12月に修正²⁾した回帰式

元素	回帰式	2000年への外挿値
S	$\log x = -0.066y + 131.58$	0.4 ppm
P	$\log x = -0.064y + 128.26$	2 ppm

C、O、N、Hについては修正なし

表3 1992年に算出した回帰式³⁾

元素	回帰式	2000年への外挿値
C	$\log x = -0.0416y + 83.702 \pm 0.7$	4 ± 0.2 ppm
S	$\log x = -0.0521y + 103.903 \pm 0.7$	0.6 ± 0.2 ppm
P	$\log x = -0.0551y + 110.716 \pm 0.7$	3 ± 0.2 ppm
O	$\log x = -0.0342y + 68.742 \pm 1.0$	2 ± 0.1 ppm
N	$\log x = -0.0250y + 50.732 \pm 1.0$	6 ± 0.1 ppm
H	$\log x = -0.0213y + 42.271 \pm 1.0$	0.5 ± 0.1 ppm

x : 濃度 (ppm)、 y : 西暦

2 予測の手法と結果

1982年の分から1998年の分までの各社の回答を元素ごとに整理したものが表4から表9である。調査は単に精錬限界濃度をお教えいただくだけでなく精錬限界濃度を低下させることを要求したニーズとそのニーズに応えた技術をもお教えいただいた。表中の冒頭に鉄鋼要覧あるいは要覧と

表4 炭素の精錬限界濃度の低下、ニーズ、呼応技術

西暦	限界濃度 (PPM)	ニーズ	呼応した技術	回答社
1940	800			鉄鋼要覧
1957	320			A社
1958	180			C社
1959	200			B社
1961	200			E社
1962	80	電磁鋼板	DHおよびRH	A社
1965	50	電磁鋼板	DH	E社
1968	70	厚板ハイテン・4"ハイテン材・電磁鋼板	DH	C社
1970	150			D社
1973	80	4-0-用鋼板	脱炭脱ガス	B社
1974	30	電磁鋼板	VOD	D社
1975	80	深絞り用鋼		B社
1977	20	高級極厚板鋼	RH	C社
1978	50	高級電磁鋼	真空脱ガス操業法改善	A社
1979	15	極低温用鋼・耐水素誘起割れ鋼 汎用薄板向連铸鋼種	VAD・VOD・RH	C社
1979	15			D社
1979	50		複合吹錬	B社
1980	30	薄板連続焼鈍技術・高級電磁鋼	複合吹錬・RH大環流	A社
1981	20		RH改善	E社
1984	20	薄板連続焼鈍技術	多機能2次精錬	A社
1986	10	極低炭素化・超加工性鋼	ガス吹込み法改善と C・H・N防止	A社
1986	30		RH環流増大	B社
1987	20		RH環流径増大	B社
1987	10	連続薄板焼鈍	RH大環流化	C社
1988	15	連続焼鈍・電気めっき鋼板	RH大環流化	E社
1989	12	超加工用鋼板	RH排気能力増強	B社
1990	8	IF鋼	RH槽内地金除去	B社
1991	6	極低炭素鋼	RH環流管径増大	D社
1991	10			C社
1993	5	連続焼鈍・電気めっき鋼板	KH操業改善	E社
1995	7	自動車用鋼板	RH大環流化・地金処理	A社
1995	7	IF鋼	多機能バーナー	B社
1998	7			A社
1998	7			B社
1998	10			C社
1998	6			D社
1998	5			E社

表6 りんの精錬限界濃度低下、ニーズ、呼応技術

西暦	限界濃度 (PPM)	ニーズ	呼応した技術	回答社
1940	100			鉄鋼要覧
1940	650			鉄鋼要覧
1957	200			A社
1959	200			B社
1961	150			E社
1962	100			B社
1965	150	大入熱用鋼・低温用鋼	ダブ・スラグ	A社
1970	100	耐ラメラティ鋼	2回出鋼	A社
1970	70			C社
1973	100	80Kgハイテン	ダブ・スラグ	E社
1975	40			D社
1976	90	耐ラメラティ鋼	ダブ・スラグ	B社
1976	30			C社
1977	30	9%Ni鋼	LD-AOD	E社
1979	16	耐水素誘起割れ鋼	AOD-VOD	C社
1979	20			D社
1979	80			B社
1981	30	低合金鋼	LD-LF	E社
1982	50	新制御圧延技術	溶鉄脱燐	A社
1983	16			C社
1984	20		溶鉄予備処理	B社
1984	30	海洋構造物用鋼	溶鉄脱燐出鋼脱燐併用	A社
1985	10	耐水素誘起割れ鋼	溶鉄予備脱燐	C社
1986	10	9%Ni鋼	取鋼精錬・転炉スラグ・ホット	B社
1987	25			A社
1987	10	9%Ni鋼	復燐抑制強化	E社
1993	6	極低温鋼	多段脱燐法	E社
1998	25		多段脱燐法	A社
1998	10			B社
1998	10			C社
1998	20			D社
1998	6			E社

表5 硫黄の精錬限界濃度の低下、そのニーズ、呼応技術

西暦	限界濃度 (PPM)	ニーズ	呼応した技術	回答社
1940	250			鉄鋼要覧
1940	350			鉄鋼要覧
1957	120			A社
1958	100			C社
1959	150			B社
1960	200			E社
1965	50	低温用鋼	KR	A社
1966	50	リムド薄板	N ₂ 吹込み脱硫	C社
1968	100	ラインパイプ材	ソーダ灰脱硫	E社
1969	50	ラインパイプ材	気泡ポンプ	B社
1972	20	ラインパイプ材	気泡ポンプ	B社
1973	20	大入熱用鋼	LF	A社
1973	20	ラインパイプ材	溶鉄脱硫	C社
1973	30	低温用鋼・ラインパイプ材	KR	E社
1976	10	耐ラメラティ鋼	フラックスインジェクション	B社
1977	10	耐水素誘起割れ鋼	Ca処理	E社
1978	10	耐ラメラティ鋼	LF操業改善	A社
1979	5	耐水素誘起割れ鋼・極低温用鋼	VAD・VOD・RH	C社
1979	10	耐水素誘起割れ鋼・連铸用鋼種	フラックスインジェクション	D社
1982	8	耐水素誘起割れ鋼	フラックス精錬	B社
1983	2	耐水素誘起割れ鋼増加	フラックスインジェクション	C社
1984	5	海洋構造物鋼	多機能2次精錬	A社
1984	7	耐水素誘起割れ鋼	スラグ改善	E社
1985	5		取鋼加熱精錬	B社
1985	3	耐水素誘起割れ鋼	LF	D社
1986	3	圧力容器鋼	多機能2次精錬改善	A社
1991	3			A社
1991	5			B社
1991	2			C社
1991	3			D社
1991	7			E社
1994	1	耐水素誘起割れ鋼	スラグ・メタル間反応強化	E社
1998	3			A社
1998	5			B社
1998	2			C社
1998	3			D社
1998	1			E社

表7 酸素の精錬限界濃度の低下、ニーズ、呼応技術

西暦	限界濃度 (PPM)	ニーズ	呼応した技術	回答社
1940	50			要覧
1940	100			要覧
1957	45			A社
1959	35			B社
1959	20			E社
1962	35	厚肉高強度鋼	DH・RH	A社
1968	30			C社
1970	25	極厚大単重板	DH	B社
1971	20			C社
1972	15	全鋼種介在物減少化	取鋼Ar ³ ブリック・注入流ター	E社
1973	20	極厚高強度鋼	LF	A社
1975	15			D社
1976	22		溶鋼Ar ³ ブリック・スラグ・ホット	B社
1977	20		注入流ター	B社
1978	18		塩基性取鋼くんが	B社
1978	10	深絞り用鋼	複合吹錬・RH	D社
1978	10	高炭素鋼線材	VAD	E社
1979	11			C社
1980	10		ASEA-SKF	B社
1981	10	肌焼鋼の連铸	フラックス精錬	A社
1983	11			C社
1983	10			E社
1986	9	軸受鋼	2次精錬スラグ清浄化	D社
1986	7	軸受鋼	RH長時間環流	E社
1987	5	転動疲労寿命改善	スラグ成分制御・鋳造技術改善	C社
1988	5	軸受鋼	タンデム熱間吹付け	A社
1990	5	軸受鋼	スラグ組成制御・タンデム熱間誘導加熱	B社
1990	5	軸受鋼	スラグ清浄化・タンデム熱間再酸化防止	D社
1991	4			B社
1991	6			E社
1998	5	軸受鋼	脱燐鉄使用	A社
1998	4			B社
1998	5			C社
1998	5			D社
1998	6			E社

表8 窒素の精錬限界濃度の低下、ニーズ、呼応技術

西暦	限界濃度 (ppm)	ニーズ	呼応した技術	回答社
1940	10			鉄鋼要覧
1940	80			鉄鋼要覧
1957	45			A社
1957	45			B社
1958	30			C社
1959	45			E社
1961	30			E社
1961	40	非時効性薄鋼板	低窒素吹錬	A社
1961	30	非時効性薄鋼板	L D 転炉導入	E社
1965	35	薄板用鋼板の連続化	注入流シール	A社
1966	12	リムド薄板		C社
1968	25			E社
1970	40			B社
1972	20	80kgハイソ	シール製造	E社
1975	30		注入流シール	B社
1976	25	深絞り用鋼	リムド出鋼	B社
1977	10	高級極厚板材	R H	C社
1978	15	深絞り用鋼・連続薄板	複合吹錬	D社
1980	20		複合吹錬	B社
1980	30	薄板連続焼鈍技術	複合吹錬・製造中シール強化	A社
1981	20		吹錬技術改善	A社
1982	15	薄板連続焼鈍設備	ソーダ灰脱硫	B社
1983	10			C社
1985	15	薄板連続焼鈍技術改善	2次精錬中・製造中シール強化	A社
1989	10	極低炭素鋼	Nビョグアツ防止	D社
1991	20			E社
1991	10	I F 鋼	脱窒用フラスコ	B社
1991	10			C社
1997	9	高級電磁鋼板	R H - 操業改善	E社
1998	15			A社
1998	10			B社
1998	10			C社
1998	10			D社
1998	9			E社

表9 水素の精錬限界濃度の低下、ニーズ、呼応技術

西暦	限界濃度 (PPM)	ニーズ	呼応した技術	回答社
1940	4			鉄鋼要覧
1940	2			鉄鋼要覧
1957	3.5			A社
1958	4.0			C社
1959	3.0			E社
1960	1.2			D社
1960	3.2			B社
1961	2.0			E社
1962	2.0	厚肉高強度鋼	L D 転炉	A社
1966	2.0	厚板ハイソ・ハイ材・電磁鋼板	R H、D H	A社
1968	1.0	厚板	D H	C社
1970	2.5	極厚単重鋼板	D H	E社
1975	0.7	大型鍛造用鋼	取鍋精錬	B社
1975	1.5	耐ラジエイト鋼	脱ガス処理時間延長	D社
1977	1.2	高級極厚板	R H	A社
1979	2.0		R H 脱ガス	C社
1980	1.0	耐水素誘起割れ鋼	A S E A - S K F	B社
1983	1.2			C社
1984	1.0	海洋構造物用鋼	多機能2次精錬	A社
1987	0.5	極厚鋼板連続化	R H 大環境化	C社
1989	0.8		R H 排気力増大	B社
1998	1.0			A社
1998	0.8			B社
1998	0.5			C社
1998	0.7			D社
1998	1.0			E社

記述した部分があるが、これは第2次世界大戦直前の日本の技術レベルを知りたいために引用したものである。鉄鋼要覧⁴⁾とは鉄鋼便覧⁵⁾の前身である。鉄鋼要覧のデータは同書中のデータの最も低い値を採用した。各社からの回答のうちニーズと技術の両方が同時に空欄の箇所は、1980年代以前の部分は各社内で数値の確認はできたがそれに対応するニーズと技術が不明のものである。1980年代以後の両方同時の空欄は、調査時点当時の精錬限界濃度レベルを回答

して下さったものであり、精錬限界濃度に急激な変化のあった年ではないことを意味する。

年代と精錬限界濃度の関係の1例として示したものが図1のりん(P)の場合である。この図は精錬限界濃度は年々徐々に降下するものではなく、あるとき急に降下するものであること、すなわち階段状に変化するものであることを示している。この階段のテラスの開始点の濃度の対数と西暦の関係を示したものが、図2から図7である。これらの図中の白抜きで示したものは、テラスの開始点ではなく調査時点での実績値であるか、あるいはニーズとそのニーズに対応した技術が不明のデータであり、回帰には使用しなかったものである。

これらの図中の点線は表1の回帰式で与えられるものすなわち1983年5月に回帰したもの、鎖線は表2の回帰式で与えられるものすなわち1983年12月に修正したもの、1点鎖線は1992年のデータも加味して回帰した線すなわち表3の回帰式で与えられるものである。これらの回帰線を2000年まで外挿したものが当時の予測値である。実線が今回の回帰結果の1992年以降を示したものである。1992年以前のデータに今回の調査データも含めて再回帰すると、1992年の回帰線とほぼ同じものになった。1998年附近のデータのほとんどが回帰線から離れているが、これは1995年以降に精錬限界濃度の低下がほとんどなく、1998年の実情の値がそれ以前の値からあまり変化していないためである。

Sについては1962年頃に折れ点が現れるが、この年は溶銑脱硫が始った年代付近である。Pについては1970年頃に折れ点が現れるが、この頃にダブルスラグが始まっている。酸素と窒素も1970年付近に折れ点を持つが、この時期に溶鋼流シールが開始されたりLF(Ladle Furnace)が開発されている。

3 まとめ

今回の調査結果で、1992年の予測を修正する必要はなかった。

精錬限界濃度は毎年徐々に降下するものではなく、ある時点で階段状に急降下する。階段のテラスの開始点の濃度と年代の関係は半対数関係で直線として記述できる。この直線は精錬限界濃度の次の降下はどのくらいの値になるのかを予測するために用いる事ができる。例えば2000年に新しいニーズが生じるとすると、そのニーズに対応する精錬限界濃度は直線の外挿値から、すなわち表3の式を用いて見当をつけることができる。しかし、2000年の実績が回帰線より上側にあったとしても、これは技術の遅れを示すものではない。まだ前回に出現したテラス上に載っている時

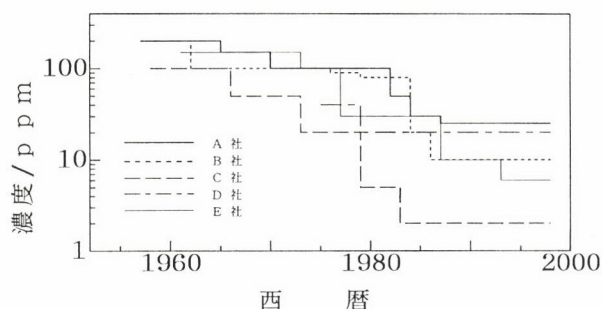


図1 各社ごとのリンの精錬限界濃度の変遷

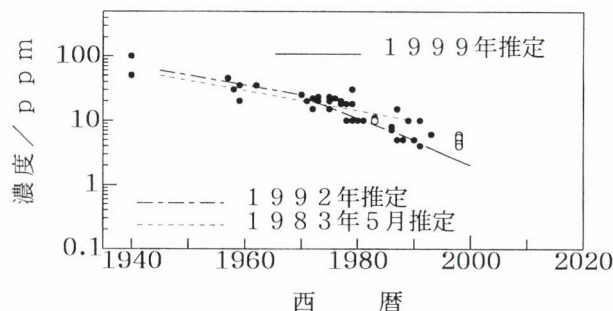


図5 酸素の精錬限界濃度の推定

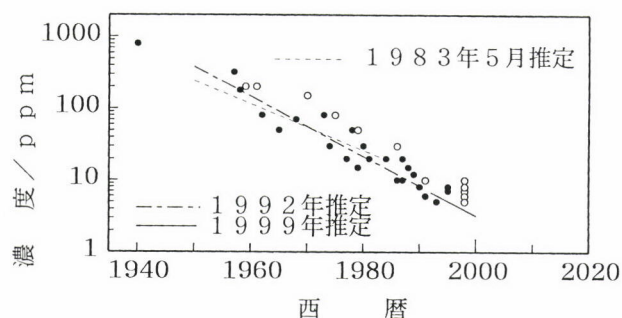


図2 炭素の精錬限界濃度の推定

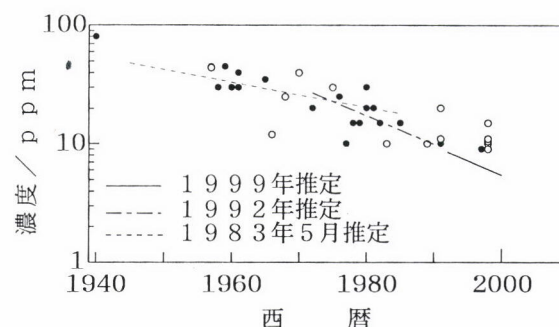


図6 窒素の精錬限界濃度の推定

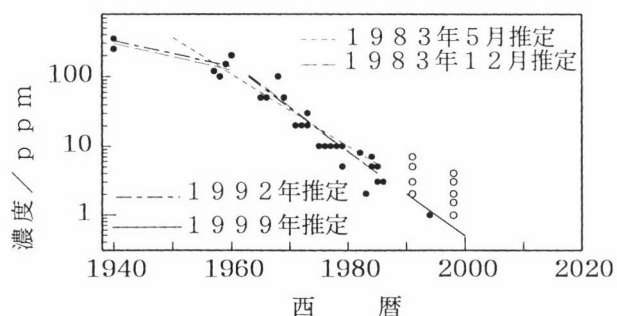


図3 硫黄の精錬限界濃度の推定

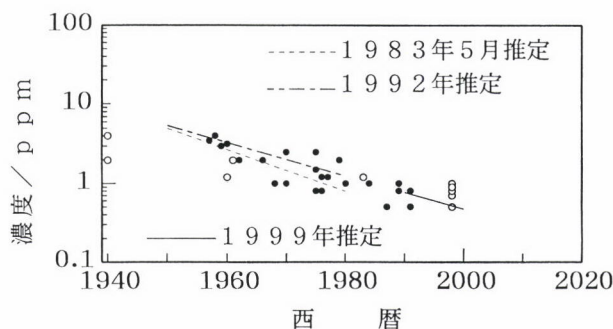


図7 水素の精錬限界濃度の推定

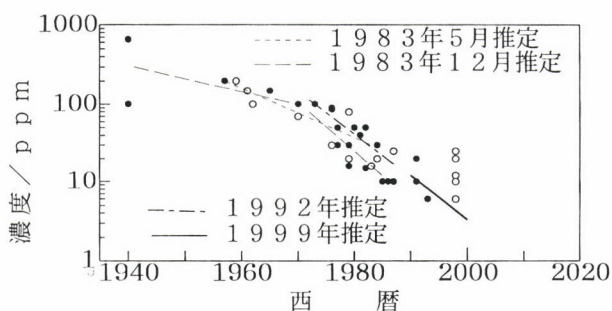


図4 リンの精錬限界濃度の推定

期にある、ということにすぎない。次のステップが出現する時の精錬限界濃度は表3の数式から求められる値の近くに現われるであろう。

毎回の資料を作成するにあたって、調査にご協力下さった各社に厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 雀部 実：第90・91回西山記念技術講座テキスト，日本鉄鋼協会，(1983)，21.
- 2) 雀部 実：鉄と鋼，69 (1983)，1831.
- 3) 雀部 実：第143・144回西山記念技術講座テキスト，日本鉄鋼協会，(1992)，1.
- 4) 鉄鋼要覧，日本鉄鋼協会編，日本鉄鋼協会，(1944)，771.
- 5) 鉄鋼便覧 第3版，日本鉄鋼協会編，丸善(株)，(1982)

(1999年1月20日受付)