

## 自硬性鋼の焼入性について\*

小柴定雄\*\*・清永欣吾\*\*\*

## ON THE HARDENABILITY OF SELF-HARDENING STEELS

Sadao Koshiba, Dr. Eng. and Kingo Kiyonaga

## Synopsis:

Hardenabilities of 17 self-hardening steels were investigated with reference to the relation of hardness vs. "half-temperature time". Mass effects of these steels were deduced from the grossmann's diagram, and the results showed good coincidence with experimental values. Due to the above investigation, it became obvious that there was a considerable difference among hardenabilities of various self-hardening steels.

Further, the authors referred to the secondary hardening characteristics of these steels due to tempering after slack quenching at various cooling rates. As the results, bainite seemed to be stable for temper-softening and qualified for the transformation and precipitation which led to a secondary hardening.

## I. 緒 言

W. E. Jominy および A. W. Boegehold<sup>1)</sup> による一端焼入試験法は鋼の焼入性の研究方法として、あるいは溶解管理の方法として広く一般に用いられているが、この方法は炭素鋼および低合金鋼などの比較的焼入性の低い鋼に適用できるに過ぎない。したがって空冷によつて焼きの入るような自硬性の大きい鋼に対しては Jominy の一端焼入における空冷端部の冷却速度を適当な方法によつて、当該鋼の臨界冷却速度以下にすることが必要である。

かかる方法として

1. 一端焼入試験片の大きさを空冷端部へ向つて大きくする。

2. 焼入の際に試料の空冷端を適当な方法によつて加熱する。たとえば徐々に冷却する媒体(炉あるいは煉瓦)によつて加熱する。

が考えられる。前者に属するものとして A. Rose et al.<sup>2)</sup> および C. B. Post et al.<sup>3)</sup> 等の方法があり、後者に属する方法として J. W. Wilson<sup>4)</sup> および G. de Vries<sup>5)</sup> 等の方法がある。また最近では J. W. Wilson の方法を改良した C. M. Carman, et al.<sup>6)</sup> の方法が発表されている。

ただし、これらの方法はいずれもきわめて多くの労力あるいは特殊の装置が必要であり、ただちに自硬性鋼の焼入性を吟味せんとするには、かなりの予備実験を必要とする。筆者等はきわめて簡単な方法によつて、断続的に各種の冷却速度を与え、その硬さを測定することによつて高速度鋼、ダイス鋼、不銹鋼、耐熱鋼その他、一部

の強靱鋼の焼入性を研究し、さらに Grossmann<sup>7)</sup> および A. Schack<sup>8)</sup> の方法を用いてこれらの鋼の質量効果を具体的に示した。

つぎに上記の各種冷却速度を与えられた試料の焼戻曲線を求め、不完全焼入鋼の二次硬化現象について検討を加えた。

## II. 試料および実験方法

試料の化学成分を Table 1 に示す。30~50mmφの焼鈍素材より Fig. 1 に示すような試料を製作した。試料中央の孔は冷却の際の温度—時間の関係を知るために設けた熱電対挿入のための孔である。試料は焼入温度に30mn 保持後つぎの冷却方法によつて冷却し、その場合の冷却速度と冷却後の硬さの関係を求めた。

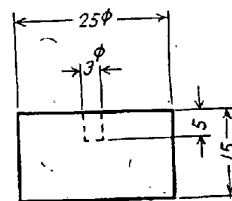


Fig. 1. Shape of specimens.

- (1) 油冷
- (2) 空冷 (静止空気中での放冷)
- (3) アスベスト中冷却 (冷却の際に厚さ約 30mm 程度長繊維アスベストで包み徐冷する。)
- (4) イソライト煉瓦中冷却 (厚さ約 30mm の箱を

\* 昭和 32 年 10 月本会講演大会で発表

\*\* 日立金属工業株式会社安来工場冶金研究所, 工博

\*\*\*



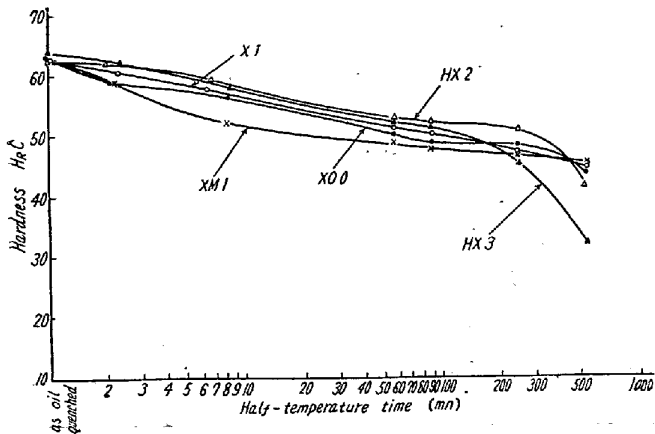


Fig. 4. Hardenability curves of specimens—(3)

強靱鋼は半冷時間が長時間側へ移るにしたがつて徐々に硬さを低下し、前者のごとき急激な硬さ低下は示さないようである。これは前者の軟化が炭化物の析出、成長によるマトリックスのC低下、内部歪の除去に関係すると思われ、また後者はNiのごとき炭化物を形成しない元素によつて地質が硬化しており、Ar'変態によつて安定なベイナイトを形成するので軟化は徐々に進行されると考えられる。この傾向は冷却後の組織の観察によつて確かめられた。

ダイス鋼では一般にDAC, DC, などの熱間ダイス鋼の焼入性がよく、熱間ダイス鋼のうちではHDCの焼入性が低い。これは、これらの鋼種のS曲線ならびに変態点の生起状況から推察しうることであるが、HDCの低い焼入性はDCと比較すれば分るようにWに起因する。Wは固溶しがたい炭化物をつくりやすく、γ域を狭くし、HDCの組成では焼入温度においてもη相(Wの複炭化物)を生ずる。これが素地中のCを吸収して焼入性を悪くするものと思われる。

#### IV. 結果の応用

前節で自硬性鋼の焼入性曲線を示したが、つぎにこれの応用分野について述べる。

今温度伝導度  $a$  なる鋼 (半径  $R$  の無限長円棒とする) を  $T_0$  °C の温度から  $0$  °C の焼入液に焼入したとすれば中心より  $r$  の距離にある点の任意の時間  $t$  後における温度  $T$  は

$$T = T_0 f(hR, at/R^2, r/R)$$

として示される。  $T/T_0 = 0.5$  とすれば  $t$  は半冷時間となる。Grossmann および Asimow<sup>7)</sup>, Schack<sup>8)</sup> 等は変数  $hR, at/R^2, r/R$  の関係を計算し図示した。この図を用いて円棒の中心 ( $r/R = 0$ ) の半冷時間と半径  $R$  との関係を生々の焼入急冷度  $h$  について求めることができ

る<sup>11)</sup>。したがつて先ず、油冷および空冷の場合の  $h$  をつぎの方法によつて測定した。

油冷の場合は  $60\phi \times 250$  のSA1鋼 (1.0% C, 0.8% Cr, 1.8% W) を油冷し、その中心の硬さとジョミニー曲線からCrafts-Lamontの関係曲線を用いて  $h$  を決定した。空冷の場合は  $100\phi \times 400$  mm のSBD鋼 (1.2% C, 1% Mn, 1.3% Cr, 1.7% W) を  $950$  °C より空冷し、中心部の冷却曲線を求め、その半冷時間とGrossmannおよびSchackの関係曲線によつて空冷の場合の  $h$  を推定した。その結果、油冷の場合、 $h = 0.35 \text{ cm}^{-1}$ 、空冷では  $h = 0.018 \text{ cm}^{-1}$  であることが推定された\*。

つぎにこの  $h$  にしたがつて冷却された場合の丸棒中心の半冷時間と直径の大きさの関係をGrossmannの線図によつて求めた。これをFig. 5に示す。これと、Fig.

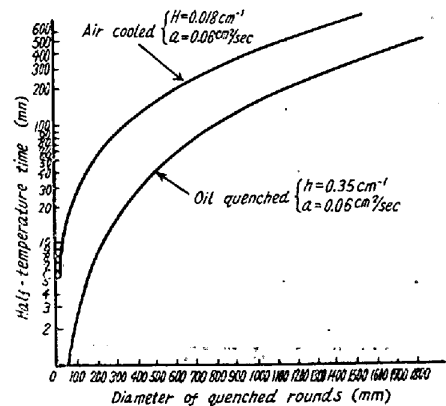


Fig. 5. Relation between diameter of rounds and half-temperature time at the center in case of air and oil quenching.

2~4の結果を併用して空冷および油冷の場合の中心硬さと丸棒直径の関係を知らることができる。その結果、本研究に使用した自硬性鋼はほとんど  $200 \text{ mm } \phi$  までは油冷によつてほぼ完全に内部まで焼きが入ることが分る。空冷の場合は鋼種によつて異なるけれども、ほぼ  $50 \text{ mm } \phi$  までは焼きが入ることを知る。

上記推定の際に用いた温度伝導度 ( $a$ ) は  $0.06 \text{ cm}^2/\text{sec}$  の一定値を採用しているが、この  $a$  の値は鋼によつて若干異なる。たとえば  $600$  °C においては  $0.3\%$  C,  $3.5\%$  Ni 鋼では約  $0.07$ , 12 Cr (410鋼) では  $0.065$  程度となる。 $a$  の値の変る場合には Fig. 5 の半冷時間に  $a_0/a$  を乗じて補正することが必要である。ここに  $a_0 = 0.06 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 。  $a$  は求める鋼の温度伝導度である。

\* 焼入急冷度としては Crafts-Lamont および Grossmann 等の用いる  $H$  と Schack 等の用いる  $h$  があるが、この両者には  $H = 1/2 h$  但し  $h = \alpha/\lambda$  ( $\alpha$ : 焼入媒の熱伝達係数,  $\lambda$ : 鋼の熱伝導度) の関係がある。

## V. 推定値と実測値の比較

半冷時間—硬さの関係として示した焼入性曲線が適当であり、Grossmann の関係曲線による推定が十分妥当である場合には当然推定値と実測結果は一致しなければならない。これを確かめるために 50φ、100φ、140φ の CRD 鋼を焼入温度より空冷し、その場合の硬さ分布を調べて推定値と比較した。試験材の化学成分を Table 2 に示す。

Table 2. Chemical composition of specimens (%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu
CRD	2.13	0.17	0.33	0.018	0.009	0.42	13.68	0.04

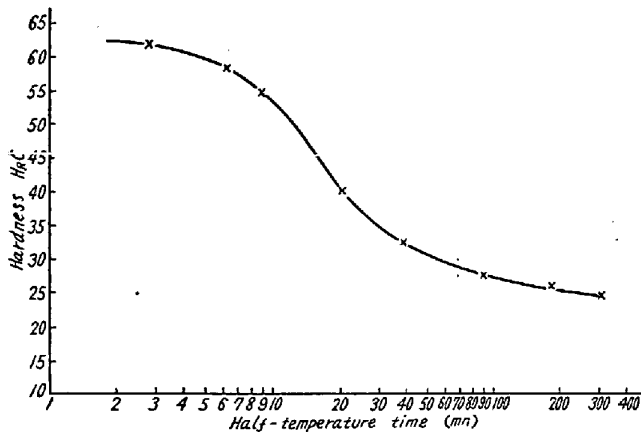


Fig. 6. Hardenability curve of CRD die steel.

まず焼鈍した 150φ 素材より 25φ×15mm の試料を削り出し 980°C に 30mn 保持後、各種の冷却速度で冷却し、試験材の焼入性曲線を作製した。その結果を Fig. 6 に示す。つぎに同じ試験材から 50φ×200mm、100φ×300mm、140φ×400mm の試料をつくり、これを縦型環状炉中で 980°C に加熱し、均熱 30mn 後環状炉を取り去って静かに空冷した。その際、試料の中心部に熱電対を挿入し、半冷時間を求めた。冷却後、試料の中央部断面の硬さ分布を 2.5mm 間隔で測定した。試料の中心部における半冷時間は 50φ で 10mn、30sec、100φ で 31mn、20sec、140φ 試料で 41mn、30sec. であった。

空冷後の硬さ分布は Fig. 7 に示すように、50φ 試料では中心部から外周に到るまでほぼ HRC 62~63 を示し、完全に内部まで焼きが入るが、100φ および 140φ の試料では中心部で HRC 30~35、外周部に到るも硬さの上昇はわずかである。この場合の  $h$  を計算すると、 $h=0.024 \text{ cm}^{-1}$  (50φ)、 $0.016 \text{ cm}^{-1}$  (100φ)、 $0.016$

$\text{cm}^{-1}$  (140φ) となる。ただし温度伝導度  $a$  は  $0.06 \text{ cm}^2/\text{sec}$  とした。これらの値を用いて Grossmann の線図から 50φ、100φ および 140φ 試料の硬さ分布を推定すると Fig. 7 に併記したようになる。100φ、140φ の推定値は実測値とよく一致していることがわかる。50φ の場合には実測値がかなり高くでているが、50φ 程度は CRD 鋼の空冷の場合の臨界直径にほぼ相当するので、多少の条件の不同が硬さに大きく影響し、誤差が出やすい。とくにかかる自硬性鋼の大部分は固溶しがたい炭化物を含有することが多く、これらの固溶状態によつて焼入性が異なつて

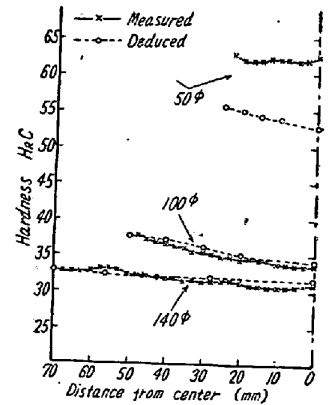


Fig. 7. Hardness distribution and deduced value of CRD rounds in air cooling.

くると考えられる。したがつて焼入性試料の熱処理条件の吟味が肝要である。ともかく、この方法により自硬性鋼の質量効果をかなり正確に推定することは可能と思われる。

## VI. 自硬性鋼の焼戻特性について

一般に鋼の焼戻特性は完全焼入鋼について研究されたものが多いが、これを完全に把握するには各種段階の不完全焼入鋼の焼戻特性について検討する必要がある。

不完全焼入によつて生ずる組織は主としてベイナイトであるが、A. Rose および E. Rademacher<sup>2)</sup> の研究によればベイナイトはマルテンサイトよりも焼戻に対して安定であり、また二次硬化現象を導くような変態または析出に適するものとされている。一方残留オーステナイトは、かかる不完全焼入によつて安定化し、焼戻による分解によつて硬さ上昇に寄与するので、これの二次硬化におよぼす役割は重要なものと思われる。

Ⅲ. 項で自硬性鋼の焼入性曲線を示したが、この測定に用いた試料をそのまま 200~700°C の各温度に 1h 焼戻し、焼戻曲線を作製した。その一例を Fig. 8 に示す。これは HX3 の焼戻曲線である。Fig. 8 で焼入硬さの低いものは Fig. 4 における半冷時間の長い場合に相当する。焼入硬さである。この際、油焼入試料の焼戻曲線は 200~400°C の焼戻によつて硬さが減少し、400~600°C の焼戻で二次硬化を示すが、空冷およびそれより半冷時間の長い試料では 200~400°C の焼戻による硬さ低下を示さず、400~600°C の二次硬化のみを示して

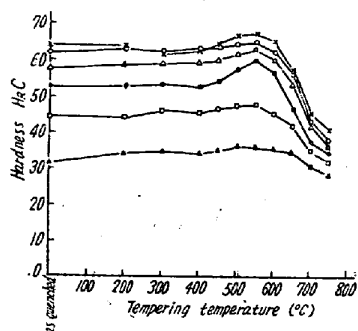


Fig. 8. Tempering characteristics of HX3, quenched by various cooling methods.

いる。

しかも焼入硬さに対する二次硬化量の大きさは、焼入硬さ約 HRC 52 の試料（半冷時間約 60mn.）がもつとも大きく、焼入硬さがさらに低い場合（HRC 約31）でも焼戻によつて若干の二次硬化を示している。

かかる焼戻特性は他の高速度鋼でも一様に認められる。熱間ダイス鋼では 200~400°C における硬さ低下は少なく、また油冷の場合よりも空冷あるいはそれ以下の冷却速度で焼入された試料の二次硬化が顕著である。

550°C 焼戻における二次硬化を明示するために、X00 HX3, CRD および DC の 550°C 焼戻硬さと焼入硬さの関係を Fig. 9 示した。これら4種類についてはいずれも 550°C における二次硬化量が、冷却速度の速い場合よりも、ある程度遅い場合に大きいこと、さらに冷却速度が遅くなると、ふたたび二次硬化量が減少することを示している。

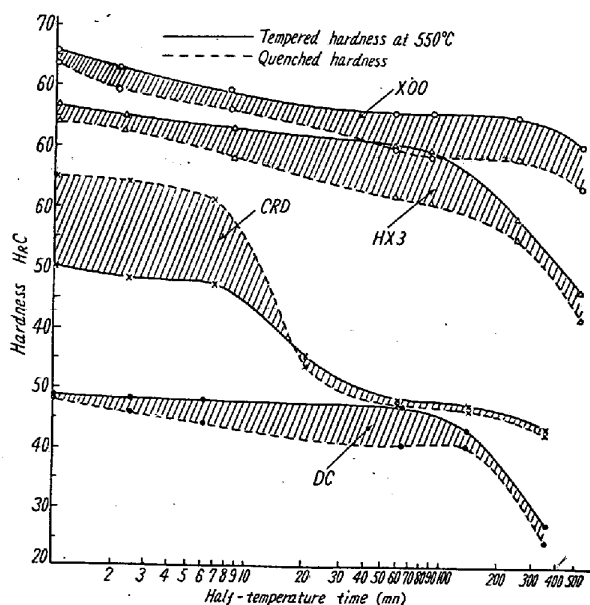


Fig. 9. Comparison of hardness changes after tempering.

以上の結果はベイナイト生成範囲の焼入鋼が焼戻に対して安定であること、二次硬化を導くような変態または析出に適していることを示している。200~400°C の焼戻軟化は主としてマルテンサイトからの炭化物の析出によつて説明されるけれども、ベイナイトと残留オーステナイトよりなる不完全焼入鋼は、かかる析出による軟化に対しては安定で、ベイナイト形成にともなう残留オーステナイトが 500~600°C の焼戻の際に特殊炭化物の析出に適し、二次硬化を導くものと考えられる。さらに冷却速度が遅い場合には組織はトルースタイト、ソルバイトおよび冷却時に析出した巨大な複炭化物よりなり、焼戻による析出およびオーステナイト→マルテンサイト変態による二次硬化は少なくなるはずであるが、Fig. 9 でかなり低い焼入硬さでなお若干の二次硬化を示すのはこのような冷却においてもなお残留オーステナイトの存在があることを示すものと考えられる。

## VII. 結 言

高 Ni 強靱鋼、不銹鋼、耐熱鋼、ダイス鋼、高速度鋼など自硬性鋼 17 種の焼入性を吟味し、その質量効果の程度を推定した。本研究に採用した方法はきわめて簡便で、特殊の装置を用いる必要がなく、しかもその結果から実際の質量効果を推定することが可能であり、実測値と比較の結果、両者は比較的よい一致を示した。ただし多数の自硬性鋼の焼入性を連続的に測定するには便利ではない。

つぎに各種の冷却方法によつて焼入した高速度鋼およびダイス鋼の焼戻二次硬化現象の吟味を行い、その特性について言及した。すなわち、中間段階組織の焼入鋼は焼戻に対して安定であり、二次硬化現象を導くような変態ならびに析出に適していることが推察された。

(昭和 32 年 12 月寄稿)

## 文 献

- 1) W. E. Jominy & A. W. Boegehold: Trans. A.S.M. 26. (1938)574/606
- 2) A. Rose & L. Rademacher: Stahl u. Eisen 76, (1956—Nov.)1570,
- 3) C. B. Post, M. C. Fetzer & W. H. Fenstermacher: Trans. A.S.M. 35. (1945) 85
- 4) J. W. Wilson: Trans. A.S.M. 43. (1951) 454
- 5) G. de Vries: Trans. A.S.M. 41. (1949) 678
- 6) C. M. Carman, D. E. Armiento, & Harold Markus: Metal Progress, 71, 77/80 (1957-5)
- 7) M. A. Grossmann, M. Asimow & S. F.

- Urban: "Hardenability of Alloy Steels"  
(1938-A.S.M.) 124
- 8) A. Schack: Stahl u. Eisen 50, 1289 (1930)
- 9) H. J. French, Trans. Amer. Soc. for Steel  
Treat. 17. (1930) 798
- 10) T. G. Digges "Effect of C on the Harden-  
ability of High-Purity Fe-C Alloys" A.S.M.  
(1938-Oct.)
- 11) 芥川, 原田: 日立評論, 26. (昭 18-3) 160

## 八幡の高炉に就ての思い出

黒田 泰造\*

私が明治 39 年八幡製鉄所鉄部製材料に助手として採用された時は、製材料ではビーハイブ、コッパー、ハルデー等のコークス炉が作業し、ソルベール炉が建設中でこのほか第二黒田式のある辺に耐火煉瓦工場があり、その東方に赤煉瓦工場の長い長い上り窯があつて職員は僅かに 10 人位であつた。科長には工博三好久太郎氏、部長には工博服部漸氏がおられた。

高炉は東田に二つあつて第一は 150 t 炉でそれが成績悪しく、そのために第二高炉は 120 t 炉と小さくされた。この少し前までは独逸技師が居つて独逸から帰られた服部、三好両氏は昼夜交代で随分苛酷で失礼な事もされたこともあつたと。その第二高炉も一日 70~80 t より出でなかつた。高炉の科長は川合得二氏であつたがその頃の羽口は普通のものの上部に非常羽口があり、それを時々用いねばならなかつた。それというのもコークスが悪かつたからである。コークス比も以前は 1.6 だつたとのことだが、その頃は 1.2 位であつた。川合科長も夜中に絶えず電話で起きられ指揮を与えられるような有様で誠に御気の毒であつた。そしてよく高炉が模様悪くなるとお小言を頂戴する。コークスは主として二瀬炭に三池炭を 20% 時に 30% 入れた弱粘ばかりのものであつた。最初は若松戸畑辺からビーハイブ製のものがきたとの事であるが、私の行つた頃は戸畑の三菱工場のビーハイブ製の軽い高島コークス(これは自製品より良かつた)以外は自製品であつた。この自製コークスは指状で縦割のひどいもので灰分も 18% 位であつた。ソルベール炉が 150 本でき、時間がいちじるしく短くなつたが、コークスの性質が変り、高炉で困られたこともあり、その後少量ながら高島炭に無煙炭を混入したこともある。コークスの堅さは松島衛次郎氏が 6m 位の高さの所より鉄板上に落された状態を数字で毎日記録されていたのを(15ミリ以上の大きさの率)伊能泰治氏がドラムにてその数字に合うように操作を決められたのが現在も広く用いられている潰裂強度である。その数字が 70~80 位であつた。その後開平炭が来て、これを 30% 混ざるようになってかなり成績が良くなり、第三、第四高炉が 200~300 t となつた。

第五高炉(300~350 t)の建つ時には忘れ難い思い出がある。この時当初の計画は平炉より圧延工場方面であつて高炉は考えられて居られず、それに私は不満であつて服部技監(兼鉄部部長)に訴え出たのであつたが赤煉瓦の元の本事務所の隣の木造事務所の技監室で幹部の会合があり、服部技監より私も出席せよとのことであつて、私はこの際高炉二本は是非必要で鉄部購入に反対したところ、ついに一本丈建てようとのことになつたのであるが

私は尚も二本をと主張したが服部氏よりまあまあというようにことで第五高炉のみが漸く決定した。会議が果てて室外に出たところ葛氏より君(かなり生意氣であつたろう)は部長会議の席に誰の許可があつて入つたかといわれたものの私は黙して語らなかつた。ついで翌年山東省に鉱石が見つかりこれが来るようになり、むしろ本省よりの話で易々と第六高炉建設にかかることが出来るようになった。この際葛氏は特に私に昨年造つておけばよかつたねといわれた。実に立派な紳士である。

その後八幡が戸畑の東洋製鉄の高炉を引受けることになつた。この時は白仁長官に聞かれて私は今は赤字でも前途のために引受けるべきだと申し上げた。

続いて野田技監時代に技光堂山方面に田上技師が関係されて高炉建設の計画があつたが、むしろ洞岡を埋立てすることに賛成した。この時野田氏は 500 t 高炉を建てたいとの希望があり、高炉当事者が独逸にいかれ調査され、向うの技術者と相談された報告では日本のコークスを以てしては 350 t が適当だとのことであつた。それで野田氏の質問に対し氏の希望に賛成し、開平 30~40% のコークスにて 500 t は大丈夫と申し上げたのであつた。そこで 500 t 炉が立ち、その後 700~1000 t と進んで来た。その後輪西、釜石は 700 t とし広畑も 700 t と話していたが途中で 1000 t と進んだ。鋼管、中山、大谷(基礎のみ)も似ている。やがて 1200 t の話もある。この前に輪西で 700 t を願つたが、急に 700 t を二分して兼二浦と共に 350 t づつとなつた。しかしその後輪西に 700 t が三基建つた。思えば追々変りまた進歩するものである。

序でながら八幡の高炉煉瓦のはじめは英国 Glenboig 等で形も悪かつた。5, 6 年で出鉄 3, 40 万 t に耐えた。(私もその工場を訪れたが良き粘土なので独逸に渡り、製品となつて英国に戻るとのことも聞いた。また兼二浦で 130 t 許りに控え目にしつつ十年余もつたとのこともきく)。八幡で自製煉瓦のはじめは磐城粘土でやはり 5~6 年の命であつた。私は磐城の湯本に煉瓦製造の監督にいつたこともある。その後復州粘土に博山粘土を混じて 100 万 t を越すようになって安心した。そして鞍山製鉄所より米国製煉瓦が悪くて八幡に製作を頼まれた事があつた。これより先、朝鮮生気嶺粘土が来て磨滅試験でかなり良かつたが失敗した事がある。この頃はうんと成績が良いとの事を聞いている。勿論この頃はコークスも鉱石も良好であるが。

いろいろ思い出を書いたがとまれ山岡さんや田中宿老にこの文の内の誤りを訂正して頂きたいのである。

\* 元、官営八幡製鉄所化工部長