

鹽基性電氣製鋼法に於ける經濟的考察

三菱長崎造船所技師 工學士 中 村 道 方

1. 緒 言

Basic electric steel making process が Special steel 或は Cast steel making process として經濟上優越なる地歩を占むるものである事は或る二、三の特種事情を有するものを除けば既に議論の餘地はあるまいと思ふ。従つて此の論に於ては普通鋼塊を生産する Basic open hearth process を對稱と致しまして Basic electric steel making process を經濟的に考察して見度いと存じます。

元來 Basic electric steel making process が種々の特徴を有して居るに拘はらず、これが普遍化の障害をなすものは (1) 安價なる大定電力を得る事の困難、(2) 安價なる良質大電極入手の困難、(3) 原料集得の困難に、歸着するのではあるまいかと考慮するものであります。本論の中心も従つて此等三つの問題の範圍を脱せないのであります換言すれば論者は此等に對する論者の實驗を述べまして本法の普遍化に就て經濟上の考察を試みる事に致し度いのであります

2. 冷材装入鹽基性電氣製鋼法の電力消費

電氣製鋼法の比較的普及して居ります伊太利、瑞典の如く Electric steel works のため特に Power plant を建設すると云ふ事は種々なる點で最も本法を經濟的に意義あらしむるものであるが我國の經濟狀況からは先づ困難であると見ねばならぬ。従つて我々は電爐の設計、操業法の經濟化に依り Energy Consumption を減ずるとか或は Load factor improver として安價なる電力を使用すると云ふ事に依り本法を經濟化するといふ事が必要である様に思はれるのであります。

(1.) 装入容量増加に依る電力消費量の遞減範圍 理論としては凡の種類の熔解爐は其装入容量増加により熱能率は向上する事勿論で電爐に於ても此の傾向はあるが其の範圍には自ら限度がある様であります。第1表は私の設計致しました3種の Héroult type basic electric steel furnace, Cold charge, Double slag process, Cast steel making, Electric energy consumption per ton charge を示す表であります。

第1表 電爐容量と電力消費量との關係

電氣容量	第一装入	第二装入	第三装入
300K.V.A	1,360K.W.H	1,080K.W.H	1,000K.W.H
1,000 \times	1,030 \times	900 \times	810 \times
1,800 \times	800 \times	750 \times	700 \times

註 夜間休爐する場合の例

第1表の示す如く電氣容量を増加致しますと急激に Electric energy consumption par ton charge は減少して參りますが此傾向が何時迄も繼續するものではありません例へば次の例に申上げます同じく私の設計しました 3,240 K.V.A Furnace は 8 ton 内外の Charge に於きまして 3rd Charge, Energy consumption は 600~650 K.W.H per ton 位に止つて居るのであります。特に Cold charge Big furnace の比較的發達して居ります伊太利の如きでは Arc steel furnace として Most economical charge capacity は 10 ton 内外であると稱する技術者が多いやうであるのを見ても Capacity increase に依り Energy consumption を減少せしめんとする Idea は直ちに行きつまる傾向にある様であります。今假りに Melting period に於ける Capacity of Transformer を 500K.V.A per ton cold charge と致しますれば、上記伊太利の 10 ton Furnace Transformer capacity は 5,000K.V.A と云ふ事になります。又普通の場合 Finishing stage の電壓は Melting の場合のそれに對し $\frac{1}{\sqrt{3}}$ とするのが Transformer の設計を Economical になす所以でありますから Finishing stage, の Transformer capacity は此際 2,900K.V.A 内外となるのであります。同様の例を Detroit, Ford の工場で見ました事があります。同工場には Super greaves etchels, の 40 ton 1基及 15 ton 2基がありまして、Energy consumption の點より見れば兩者殆んど差異がないと云ふ事でありました。尤もこれは 24 時間中に作業する回数に依り異り Capacity の大きくなる程 Continuous working の有難味の増す事は事實であると思はれますが何れにせよ Cold charge で 600 K.W.H 以内に喰留める事は相當骨が折れはせぬかと存じます。然らばこれは如何なる理由に基くものであるかを考察して見

ますと大體次の數點に歸着するのでは無いかと思はれるのであります。

(a) Electric arc steel furnace は他の Fuel furnace と異り元來 Inherent thermal Efficiency が良好であり丁度 Transformer の様に Capacity increase に依る Thermal efficiency curve が、割合早く Saturation に達するのではないかと云ふ事。

(b) Ford, の 40 ton Furnace の如きは例外として Electric steel furnace は大抵の場合 Circular hearth で Charging door の數が少いから Cold charge を澤山するには中々骨が折れる一様に Hearth に Charge する事も早く Charge する事も困難であり其間 Furnace heat をうんと失ふと云ふ事而して此傾向は Capacity の大きくなる程著しくなるのではあるまいかと云ふ點であります。

(c) 普通の場合 Power の供給者たる變電所乃至發電所は特に Electric steel furnace 用に設計されては居らぬから Cold charge から Start する Big furnace, の Load Fluctuation を歓迎せぬ事勿論であり、一方近時の Electric steel furnace の設計は經濟と技術の要求から Melting time を極力短縮すると共に Reducing time を延長する様 Transformer 及 Hearth area を設計する傾向にある例へば Melting period では Transformer, の Connection を Delta-Delta とし Reducing time ではこれを Star-Delta にするとか或は此方式と Match する様に Hearth area を大きくすると云ふ風になつて來たのであります。然るに斯様な傾向になつて参りますと Heavy cold charge Start に於ける Load Fluctuation は縱令 Reactance coil を入れても相當大きなものとなると存じます。従つて Melting time では Transformer capacity に相當する Full power を Constant にかける事も困難になるでしやうし Load fluctuation に起因する Power factor の著しき低下も考慮に入れて來ると Big cold charge furnace では Transformer capacity の割合に Melting time が短縮されぬ結果を生ずるのではあるまいかと云ふ事。

(d) Electric arc steel furnace で cold charge から Start する場合特に Charge の拙劣である場合に Automatic regulator の Frquent action が往々にして Electrode の破損の原因となる事を経験する。而して斯る Accident の起る Chance も亦 Big furnace 程多いと見ねばならぬと云ふのは Big furnace 程 Cold charge の Homogeneous

を期する事は困難であり又 Stating に於ける Power Fluctuation は大きいと見ねばならぬ。従つて之等の Accident を考慮に入れると案外 Furnace capacity の増加に依る Energy saving は少くなりはせぬかと云ふ事。

(e) 技術者及職工の Skilfulness といふ factor が別に Energy Consumption に影響を與へる、而して此の factor は Big furnace 程 Disturbance が大であると見ねばならぬ事。私は嘗つて英國の某社で Fiat steel Furnace の動いて居るのを見た事がありますが當時の話で從來 Treaves etchels に慣れて居る職工がこれを取扱つて居るためと思はれますが Demag 社の Gaurantee 通りに行かぬ。此の Fiat が英吉利に於ける 1st Fiat furnace であると共に恐らく Last one となるであらうと云ふ風な酷評を耳に致しました。従つて Practical には Personal factor を Account に取ると云ふ事を忘れてはならぬと感じたのであります。此の Personal factor が這入つて來る爲に Capacity increase による Energy consumption の減少する數字にも幾分の Disturbance を及ぼすのではあるまいかと思はれる事。

斯様に考へて参りますと Furnace capacity を増大する事に依り Energy saving をやると云ふ Idea は Cold charge では餘り有効ではあるまいと考へられます。然し斯く考へられると致しましても決して此 Idea が無駄だと申上げるのではない。

例へば電爐自身に就て云へば Transformer の Tap の Number を増すとか Reactance coil の正確なる設計をやるとか進んでは發電所、變電所の設計を特別のものにするとか云つた風にそれ相當の準備をやつて置けば程度こそあれ Bigfurnace 程何がしか Energy consumption は減じて來る事は確實と思ふのであります。

(2) 爐床面積と電力消費 電氣製鋼爐設計の近時の傾向としては Hearth area を大として Refining を Easy にしやうとするのであります。従つて Melting period に於て餘分の Energy loss を生ずる事となるから Melting Voltage を段々上げて参りました様です。其最も經濟的なものは Finish voltage の $\sqrt{3}$ 倍になすもので進んでは澤山の Taps を Transformer に設けるといふ工合であります。論者も此の Idea の Furnace を 1 基數年前設計致しまして現在も使用して居りますが職工の熟練致します間は Controlling に骨が折れました。此の Hearth area

を大きく設計すると申しまして、これは原料の性質目的とする鋼の種類等に関する問題で、私共の様に絶えず異なる性質の鋼を作らねばならぬ立場の者にありましては此の大きさを装入 8 廻當り何 m^2 にとるのが最も經濟であるかと云ふやうな問題になりますと申々六ヶ敷いと申上げる外ありません。元來論者は全く異なる合理的條件を必要とする Melting time と Refining time とを單に電壓の變更に依り解決せんとする近時の電氣製鋼爐設計の傾向に對して經濟的にも技術的にも大きな疑問を有して居る者であります。然らば平爐は如何といふ反問も起り得るが、後者の場合は Oxydizing period より Reducing period に移るに際し極めて漸進的であり、前者の如く Sharp に異なる冶金條件を必要とするものではありませんし、平爐本來の面目も何れかと云へば Melting が主であるとせねばならぬ所に大なる差異が存在して居るのではあるまいかと考へて居る者であります。それで Basic open-hearth process を對稱として Basic electric steel making process を經濟的に考察致しますれば餘程新たなる工夫が必要となつて來るのではあるまいかと考へられるのであります。

一、二の例として論者の實驗を申し上げますれば上記 1,800 K.V.A furnace を用ひまして平均 0.04% 内外の磷硫黄を含有する鋼屑を使用して Partial oxydation method を適用して 0.03% 以下の磷、硫黄を含有する普通鋼を生産する場合に於ては 3rd charge の Energy consumption は 620 K.W.Hs per ton charge となつて居ります。

進んで上記 3,240 K.V.A furnace に特種の Charging と Refining の方法を講じますれば 9 廻乃至 14 廻 Cold charge にありまして Energy consumption を 500 K.W.Hs per ton charge 以下に下す事は困難ではなく磷、硫黄の含有量も 0.025% 以下を標準とすれば左程骨は折れぬ。要するに Basic open hearth furnace を對稱として Basic electric steel furnace を經濟的に考察致しますと Hearth area 及 Melting voltage の關係に於てのみでも攻究すべき相當の餘地が残されて居る様に思はれるのであります。

(3) 剩餘電力及砂鐵の利用 等しく剩餘電力と申しまして一日の間に於て例へば夜間 8 時間丈或る送電網に剩餘を生ずるといふ場合もありませうし、季節的に例へば春秋二季のみ剩餘電力を有するといふ場合もありませうし、之を電力會社側から見れば貯水池に設けるとか火力發電所を設置するとか致しまして之を定電力化して成る可く高い

料金で賣り捌かんとする傾向はありませう。然し、此の Idea に依りますと大抵の場合 1 st coast per K.W. of power house は高くなりますから、或る特種工業は、別として Electrification の普遍化は困難であるまいかと存じます。御承知の如く Electric steel furnace は 1 日 2 回乃至 3 回の操業に於てもこれを考慮に入れて設計をなせば Continuous working と比較して著しき不經濟は伴はぬのであります。従つて剩餘電力利用の Electric steel works を目論見鋼塊を作る迄は安價な剩餘電力を使用し Rolling の如き比較的 Power consumption の少い Process は高い方の定電力を使用すると云ふ Idea も起り得る様に思はれます。唯此場合需給兩者間に自利利他の徳義が肝要である事勿論で、或は Rolled product の Market price を Base とする Power の Sliding scale contracts をなし共存共榮の實を揚げるのも一方法であると信じます。論者は伊太利のある Electric steel works で此の適例を見聞致しました。御承知の通り南アルプスを水源とする同國の水力發電は、氷雪の爲往々にして晩秋より新春にかけて長期間發電不能に陥るのであります。斯る特殊の事情に支配されて同國では冬季と夏季とで電力料の著しき差異が必然的に起り得るのであります。従つて上述の Steel works では晩春より秋季にかけて Steel making に全力を注ぎ其後は電力を多く要しない Rolling を主としてやり工場を經濟的に經營して居ると云ふのであります。これと反對に等しく伊太利の例で Cone girod steel works があります。これは單に定電力を安く得るのが目的で發電地點近くに Electric steel works を設置して居りましたが原料、製品の運搬費の高む點より却つて不經濟であると云ふ事でありました。

次に原料の問題であります、過去にありましては Basic electric steel making process では Basic open hearth process に比較して幾分安値の Scrap を使用し得た様であります少くとも平均の原料費は相當安値であつた様でありますが段々平爐電爐共に増設されて参りますし生産高も漸増の傾向にある我國に於きましては、今後此の優越地歩は無くなるものと見ねばなりません。従つて Basic open hearth process を對稱として Basic electric steel making process を經濟的に考察致しますれば Scrap の代用として或る割合の銑鐵を使用し安價なる砂鐵を以て脱炭せしむる屑鐵+銑鐵+砂鐵に依る Electric steel making の如きも經濟的に考慮の餘地が將來するのではあるまいかと思ふ、

特に砂鐵の生産地に近く電力又豊富な地方に於ては一層其經濟的大量生産を可能ならしむるのではあるまいかと思ふのであります。勿論砂鐵よりの直接製鋼法も Electric steel furnace の Special design に依り經濟的に不可能の事ではありますまいが私共平素砂鐵を脱炭劑として使用して居ります經驗から見まして前者の方は比較的平易の様に思はれるのであります。

3. 電 極

Electric arc steel furnace の缺點の隨一は何と云つても Electrode を使用すると云ふ點であると思ひます。然るに Furnace の Capacity が段々大きくなつて來ると Electrode の Size も大きくなるので此の缺點は一層 Severe に經濟と技術の上に影響して來るのであります。此の事實は Electrode の製造技術の上から見ても Handling や Regulator の設備や Metallurgical side から何れも Favorable の點はないのであります。そこである程度以上の Capacity になりますれば品位の高い Artificial graphite を使用すると云ふ事になります。然るに Artificial graphite electrode といへば米國は勿論歐洲に於ても殆んど Acheson の獨占と云ふ有様であります。先年私共は Siemens のそれを試用して見ましたが Melting cost の點よりは遙に前者に及びませんでした。然し我國に於ける斯業も當事者の御苦心によりまして最近は相當進歩して參りましたと云ふ事は我々 Electric steel making に従事して居るものにとりまして非常に感謝す可き事であると存じます。

私共は電極に就きましては殆んど電爐の生命であると考え居る者でありますから最近も入手致しました國産 Artificial graphite electrodes の 2 種を Acheson electrodes と比較研究して見た次第であります其の結果を簡単に申上げて御参考に供し度いと存じます。

(1) 成分及見かけ比重 先づ成分及比重より申上げますと大體第 2 表の如くであります。

第 2 表 人造黒鉛電極の成分及見かけ比重の比較

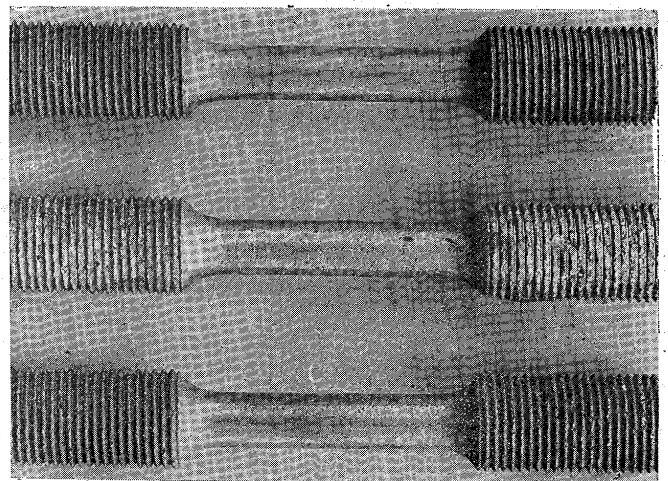
	Acheson	B	C
水分	0.04	0.02	0.05
揮發分	1.89	1.02	1.96
固定炭素	97.69	97.58	96.33
灰分	0.38	1.38	1.66
見かけ比重	1.561	1.446	1.585

第 2 表の示す如く國産 Artificial graphite electrodes

は Acheson electrodes に比し、灰分が稍々多量であるが Acheson でも 0.70% 迄のそれを含有する例は珍しくないから、先づ此の程度で結構であると思はれますが其の見かけ比重を見ますと C 電極は Acheson と大差ないが B 電極は著しく不良であることを認められます。此事實は 4 呎乃至 5 呎内外の電極を計量致した結果も、大體此の表と等しい結果を示しました。B 電極のみ約一割重量が軽い様であります。尤も此比較に於て B 電極のみは 12 吋で他は 10 吋でありますから幾分 B 電極が不利な條件にありますがそれ以上に品位の差は大きい様であります。

(2) 捻切試験成績の比較 電極は捻子で接續使用するものである以上 Machining がうまく行かぬと Joint に於ける Contact resistance を増し Joint が Over heat され破損の原因となる怖れがありますから私共では必ず捻切試験を施行して此の状況を見る事にして居ります。今回も此等 3 種の Electrode に就て之を比較する事に致しました。其の結果は、第 1 圖に示す如く C 電極は殆んど Acheson と優劣はありませんが B 電極は格段見劣りがする様であります。之を (1) の見かけ比重の測定と對照して考察致しますと其原因が那邊にあるかは略々納得出来ると思はれるのであります。

第 1 圖 捻子切試験成績比較圖



(3) 抗張力試験成績の比較 Electrodes は高温度に於て相當の抗張力を有する必要があるが高温度に於ける試験は面倒でありますので、私共の方では常温の試験を施行して大體の見當をつける事に致して居ります、試験機としては Cement testing machine を用ひます。上述 3 種の試験結果は第 3 表に示す如くであります。

第3表 抗張力試験成績比較

試料	Acheson	B 電極	C 電極
1	3.565 kg/mm ²	3.345 kg/mm ²	2.673 kg/mm ²
2	3.165 "	3.415 "	2.880 "
3	3.545 "	3.355 "	2.495 "
4	—	2.345 "	—
平均	3.402 "	3.115 "	2.683 "

第3表に示す如く平均の抗張力は B 電極が Acheson につき C 電極が最も劣つて居る、然しながら B 電極にありては試料採取位置により著しく異なる傾向を有して居るのは平均の抗張力が強いと云ふ點を解消して不均一性を有すると云ふ點より歓迎されぬ事實であると思ふ。

(4) 比抵抗試験成績の比較 Archeson 及 C 電極は 10 吋電極より縦に B 電極は 12 吋より縦に cm² の斷面を有する長 15 cm の圓柱試料を Machining により採取し 10 cm の長さの電氣抵抗を Drop method により測定せるに其結果は第4表に示す如くである。

第4表 比抵抗試験成績の比較

附號	Ap	ミリヴォルト		全抵抗		平均比抵抗	溫度°C
A	1.0	8.4	8.4	0.0084	0.0084	0.0084	25
B	1.0	16.4	16.4	0.0164	0.0164	0.00164	〃
C	1.0	11.8	11.8	0.0118	0.0118	0.00118	〃

第4表より見て B 電極の抵抗は Acheson の約2倍であります。これは昨年殆んど進歩して居ないのであります。然るに C 電極は Acheson に比較して僅かに 40% 強劣る程度迄進歩して來て居るといふ事は私共感謝に堪へない所であります。

今上記3種の電極を同一條件の下に 3-phase steel furnace に使用し Holder より Arc 迄の平均の長さを 2 m. 直徑を各 10 吋、電流を 10,000 アンペアとすれば各電極による Energy loss per Hr は 25°C に於て A 99.47 K.W.H B 194.20 K.W.H C 139.73 K.W.H と云ふ數字になります。

今 2,000°C 迄の Temperature coef. を -3.0×10^{-4} と全長に於ける平均の溫度を 1,000°C とし上記 Furnace の Normal charge 5 ton が 4 時間で Finish されるものとせば装入 1 廻當り Electrode loss は第4表-(a)の如くなる。

第4表-(a) 3種の電極に於ける廻當 Electrode loss 比較

Electrode Loss K.W.Hs. per ton charge	
A	55.70 K.W.Hs.
B	198.75 "
C	78.24 "

第4表-(a)の示す如く Electrode loss of energy も等閑に附するには相當大きな數字を示すものであります。

(5) 消費試験成績の比較 過去十數年の使用結果より見て 1日2回の装入に於ける Acheson 電極の Consumption は 5乃至7廻の間にあり Cold charge, Double slag, Continuous works に於ける、最良の例は 3 kgs per ton charge である、之を B 電極の Cold charges, Double-slag, 2 charges per day に於ける Consumption 9乃至

10 kgs per ton charge と比較すれば單價を考慮に入れても猶國産 B 電極は遙かに Melting cost の點より Acheson electrode に劣るものである。次に B 電極にありては横疵の存在を往々發見し Accident を起す Probabilities の最も多いと云ふ事は遺憾至極であります。最後に C 電極に就て、申しますと 1,800 K.V.A Furnace に用ひまして Cold charge, Double slag, 3 charges per day の例に於て相當良好の成績を示しまして大體 7~8 kgs per ton を示して居ります。

4. 結 言

以上要するに Basic open hearth process と對稱して Basic electric steel making process を經濟的に考察致しますれば大體次の如き歸着點に到達するのではないかと存じます。

(1) Cold charge をなす場合電爐の装入容量を増大する事に依り或程度の Energy saving は出來ますが、電爐の設計装入方法に特別の考慮を拂つたならば一層有効ではないかと思惟される。

(2) 電爐の負荷を目的とする特殊發電所の建設は大容量の電爐に對しては經濟的に特に有意義であると思はれるも我國の經濟狀況が、之を許さぬとすれば變電所の Load factor improver として經濟的地歩を進める外あるまい。而して Power charge は Steel works products の市價を Base とする Sliding scale contracts が斯業の普遍化を促進するものではないかと思はれる。

(3) 原料の點では今後は Basic open hearth process に對して優越地歩を段々失つて來るのではないかと思はれる従つてある地方の如き電爐の設計を特殊のものとなし剩餘電力と砂鐵を利用する事を攻究する事が經濟的に有意義であるまいかと存じます。

(4) 電爐の装入容量が段々大きくなつて參りますと人造黒鉛電極を、良質で安値に供給して戴かぬ限り、斯業が Basic open hearth process と經濟的に並行發達する事は困難であります。本文に述べた如く國産 Graphite electrode は最近非常に進歩致しまして C 電極の如く今一步で Acheson に劣らぬといふ程度迄進んで居りますが Electrode consumption 及 Electrode loss を考慮に入れますと未だ Acheson より不經濟である様であります。

従つて進歩の階梯と致しましては Acheson の消費と輸入價格を Base とする Sliding scale contracts of electrodes 或は Steel products の市價を Base とする Sliding scale contracts は斯業の普遍化に適切ではあるまいかと思惟するものであります。

(5) 經驗の示す所によりますと人造黒鉛電極の良否を見極めるには比抵抗測定 of 如き比較的面倒なる試験を施行せずとも見かけ比重の測定、機械加工の如き簡単な方法で大過なき結果を見る様であります。