

世界鋼産額

單位 100 萬英噸

年\國	英	獨	ザール	佛	白	ルク ンブル グ	西歐 合計	其他 歐洲 諸國	合 衆 國	濠 洲 加 印	洲 奈 陀 度	其他 の國	世界 總計	日本
大正 2 年 (1913)	7.66	11.99	2.05	6.86	2.43	1.31	12.30	10.16	31.30	1.11	0.28	75.15	0.25	
世界總計に對する%	10.2	15.9	2.7	9.1	3.2	1.7	42.8	13.5	41.6	1.5	0.4	100	0.3	
" 13 (1924)	8.20	9.68	1.45	6.79	2.83	1.86	30.81	5.82	37.93	1.36	1.31	77.23	0.83	
" "	10.6	12.5	1.9	8.8	3.7	2.4	79.9	7.5	49.1	1.8	1.7	100	1.1	
" 14 (1925)	7.39	12.00	1.55	7.33	2.51	2.05	32.83	7.58	45.39	1.61	1.52	88.93	1.02	
" "	8.3	13.5	1.7	8.2	2.8	2.3	36.8	8.5	51.2	1.8	1.7	100	1.1	
(15)														
昭和 1 年 (1926)	3.60	12.15	1.71	8.30	3.32	2.21	31.29	8.70	48.29	1.67	1.68	91.75	1.25	
" "	3.9	13.3	1.9	9.0	3.6	2.4	34.1	9.5	52.6	1.9	1.9	100	1.4	
" 2 (1927)	9.10	16.06	1.86	8.18	3.66	2.43	41.29	10.08	44.94	2.01	1.90	100.22	1.40	
" "	9.0	16.0	1.8	8.2	3.7	2.4	41.1	10.1	44.8	1.8	1.8	100	1.4	
" 3 (1928)	8.53	14.10	2.00	9.10	3.80	2.52	40.05	11.48	51.00	2.17	1.98	106.68	1.66	
" "	8.0	13.2	1.9	8.5	3.5	2.4	37.5	10.7	48.0	1.8	1.8	100	1.5	
昭和 3 年 (1928) 日本に對する指數%	513	850	121	548	229	152	413	692	3072	131	119	6427	100	
大正 2 年 (1913) に 對し昭和 3 年 (1928) 増減 %	111.3	117.6	97.5	132.6	156.4	192.3	124.0	112.9	162.9	195.4	707.1	142.0	664.0	

骸炭燒成溫度と其時間とに關する研究

(昭和 5 年 2 月 13 日受理)

黒 田 泰 造
武 居 鴻 二 郎

ABSTRACT.

A STUDY OF THE CARBONIZATION TEMPERATURE OF
COAL AND THE TIME REQUIRED,
TAIZO KURODA and KOJIRO TAKEI

Coal is a non-conductor of electricity, but when carbonized to coke it becomes a conductor. In order to study the progress of the carbonization of coal, the authors attempted to measure the electrical resistance of coal briquette during the carbonization.

Five kinds of coal were selected as the samples of this study, four of them being representative Japanese coking coals, the other a Chinese one.

The briquettes for this examination were prepared at a pressure of 600 kilos per sq. cm., the size being 1 cm. in diameter and about 3 cm. in length.

In order to measure the electrical resistance Kirchhoff's bridge arranged with cell and mirror galvanometer was employed.

When the samples were heated, the galvanometer began to move at about 500° in the cases of all samples, and this temperature indicates the transition from coal to coke. As the temperature rose above 500°, the electrical resistance was recorded every one or five minutes.

Results thus obtained described almost a hyperbolic curve that we may express in the following equation.

$$xy = a$$

Where x shows the time at which the carbonization is just finished.
 y is the most probable final resistance at x .
 a is a constant (the greater "a" becomes the more rapidly the carbonization occurs and vice versa).

Applying this equation we calculated the relation between temperature and time.

A large nichrome resistance electric furnace in which about ten kilos of coke could be obtained was prepared for the carbonization at a temperature.

The same sort of coal was carbonized at a certain temperature both in this furnace and in Solvay's coke oven, and the properties, especially the crushing strength, of the two kinds of coke as above obtained were compared. In the case of coke derived from Chinese coal, even at 750° it could stand comparison with Solvay's coke.

We conclude that, in order to discover the best conditions from the point of view of fuel economy and other purposes, the following steps should be taken:— first, ascertain the relation between temperature and time requisite for carbonization; second, examine the quality of the coke obtained by the carbonization at such a temperature und within such a time.

目 次

第 1 章 緒 言 第 2 章 試 料 第 3 章 電氣抵抗測定装置	第 4 章 電氣抵抗測定方法 第 5 章 實驗結果 第 6 章 結 論
--	---

第 1 章 緒 言

冶金用殊に鐵鑄鑛爐に使用せらるゝ骸炭は如何なる性質を具備せざるべからざるかと云ふに其化學的方面より觀察する時は水分、揮發分、灰分、硫黃並びに燐分等の可及的僅少なるを要し、物理的性質としては所謂金屬光澤を有し氣孔率大にして然も爐内に於て破碎磨損少き耐壓力大なるものたるを要す。近時鑄鑛爐作業の著しき進歩に伴ひ 1 基 1 晝夜 1,000 噸⁽¹⁾の出鉄量を計畫せんとするの狀況に於ては骸炭に對する荷重は愈増大し又前記の分析的成分以外に骸炭の空氣中に於ける燃燒度⁽²⁾ (combustibility) 及び炭酸瓦斯との反應率⁽³⁾ (reactivity) が鑄鑛爐作業上に影響を及ぼすものとせらるれども諸大家によりて議論區々にして未だ一致する所なきが如し。

前記物理、化學的性質を具備する如き骸炭は如何にして最も經濟的に製し得るか其原料の選擇如何は固より主要なる原因をなすものなる事は明かなれども今日所謂粘結性なき石炭より骸炭⁽⁴⁾を製する事は實驗室的研究に於ては成功せられ幾多の特許等あるが如きも未だ作業上に實施せられ居るを聞かず依て原料の選擇は先づ已むを得ずとして次に重大なる影響を與ふるものは焼成温度なりとす。若し可

(1) Stahl und Eisen, 1928, 624. Rev. L'Industrie Mineral, 1928, 323.
 (2) Gas J. Coke Competition, 1925, 6. Gas W. Coke Section, 1925, 124. Chem. Met. Eng. 1924, 247. Iron Age, 1926, 477. Fuel, 1926, 92, 98. Iron and Coal Trades Rev., 1928, 141. 製鐵所研究報告 Vol. VI, No. 8. 燃料研究所研究報告第 5 號
 (3) Iron and Coal Trades Rev., 1923, 685; 1928, 184. Iron and Steel Inst., 1923, Vol. CVIII 27. Stahl und Eisen, 1924, 1. Fuel, 1926, 106.
 (4) Iron and Coal Trades Rev., 1922, 708.

及的低溫度に於て然も優良なる骸炭を製する事を得ば燃料の節約、爐材の耐久力の増加を始めとし其他凡ての點に於て作業費を低下し得るものなることは周知の事實なるにも拘らず未だ何等理論的に研究せられたるもの無く何れも從來の經驗に従つて溫度高き程優良なる骸炭を生ずるものとの考へを有せり。然るに⁽⁵⁾シャープー及びゴッ、ドショー (Charpy et Godchot) 氏が佛國ノワイアン産の石炭に就いて行ひたる焼成試験の結果は 650 度に於て焼成せるものは 800 度に於てのものよりも遙かに大なる耐壓力を示し 800 度に於てのものは 1,000 度に於けるものよりも大なる値を示し即ち此石炭に就ては溫度高き場合耐壓力の減少するを示せり。著者は此點に留意し焼成溫度高き場合必ずしも優良なる骸炭を生ずるものに非らざるを想ひ我製鐵所の如く 1ヶ年 90 萬噸の骸炭を製する如き大工場に於ては若し焼成溫度を些少なりとも低下せしむる事を得んか其利する處や極めて大なるを以て當所使用の主要なる骸炭原料炭たる二瀬炭、開平炭を始めとし其他三池炭、高島炭、夕張炭及び二瀬、開平配合 (二瀬 7 割開平 3 割) の 6 種に就きて實驗上幾多の困難に遭遇したれども以下述ぶる骸炭化中の行程に於ける電氣抵抗の變化を測定し以て其焼成溫度と時間との關係を理論的に決定する事を得たり以下之に就て述ぶる所あるべし。

第 2 章 試 料

本研究に使用したる試料は我製鐵所に於て骸炭若くは其他の用途に使用せらるゝものゝ内筑豊炭田を代表せしむるの目的には製鐵所々屬二瀬中央炭を、又高嶋炭田よりは高嶋炭を、支那産の代表としては開平炭を選定せり。又當所骸炭用としては使用せざれども鍛冶場用として多量に使用されつゝある三池炭を三池炭田の代表とし尙此外北海道を代表せしむるの意味を以て産出最も多量なる夕張粉炭の寄贈を乞ひ試験試料として 5 疋を採集し、4 分法によりて約 100 瓦となしこれを全部 60 目篩を通過する如く粉碎し其 1 部を分析試料となし残りを可及的少量の水を加へ鋼製の型を用ひ水壓機によりて毎平方糎 600 kg の壓力にて壓搾し直徑 10 mm 長さ約 30 mm の試料を作り鹽化カルシウムを入れたる乾燥器中に數日間放置し充分乾燥せるものに就きて測定を行ひたり。又石炭を加熱する際著しく膨脹する三池炭、高島炭、夕張炭の 3 者にありては試料の長さの 2 倍以上も膨脹し内部は多孔質となり抵抗の値も測定の度毎異なるを以て其膨脹を防ぐ目的に試料上に一定の重量を加ふる如くし其他熱に對し變化なきアラシ粉を混する等の方法を講じたれども何れも失敗に歸したり。依て更に研究の結果石炭を未だ骸炭に轉移せざる溫度即ち 400 度に加熱して充分膨脹せしめたるものを粉碎して作りたる試料を用ふる時實驗結果に如何なる影響を及ぼすやを二瀬中央炭に就きて試験せしに然らざる場合と殆んど同一の結果を得たるを以て三池炭、高島炭及び夕張炭の三種は 400 度に加熱したる後粉碎し前記と同様にして試験料を作製したり。

本研究に使用したる石炭が如何なる成分より成るか其分析結果を擧ぐれば第 1 表の如し。

(5) R. Masse et A. Baril; Dist. de la Houille, 146.

第 3 章 電 氣 抵 抗 測 定 装 置

骸炭は電氣の良導體なれども石炭は然らず。石炭を加熱して骸炭化する際或温度に達する時は不良導體より良導體に變化するものにしてこれ恐らく石炭の熱分解によりて遊離せられたる遊離炭素の影響に基因するものなるべし。電氣抵抗の測定によりて石炭が骸炭に變化する所謂轉移温度 (Transition Temperature) の測定及び 900 度以下 100 度の間隔にて焼成せる骸炭に就きて常温に於ての電氣抵抗を測定せるものに⁽⁶⁾シンキンソン (Sinkinson) 氏の報告あり、然りと雖電氣抵抗は炭素に在りては他の金屬と其趣を異にし温度の上昇と共に減少するものにして純粹の炭素の場合に於ては各温度に對する抵抗已知なるべきも骸炭化の行程中に於ては石炭の幾何量が炭素に變化せるや不明にして従つて常温に於ける抵抗によりて推測すること能はず、依つて著者は試料を常に同一温度上昇割合にて所要の温度に加熱し其温度に一定時間保持したる後一定温度迄冷却し其間に於ける電氣抵抗の變化を 1 分乃至 5 分毎にキルヒホッフ橋を用ひて測定し其結果より焼成温度と時間との關係を算出し以て理論的にこれを決定することを得たり、其装置を示せば第 1 圖の如し。圖中

(1) 試料加熱用白金線抵抗電氣爐にして其中心に内徑 12 mm の石英管を立て下方より常に一定の高さに管内に支持せらるゝ白金ピストン上に試料を置き上方より同じく白金ピストンを載せ試料との接觸を良好ならしむるの目的を以てピストン棒に石英管を嵌めこれに 50 g の重りを懸ける如くす。而して白金ピストン棒の兩端をキルヒホッフ橋に連結す、爐内の試料の温度はそれを入れたる石英管の外部にて其中大部に相當する位置に爐の上蓋より挿入せられたる石英保護管内に白金及び白金ロヂウム熱電對を入れミリボルト計を使用して測定す、爐内に入れられたる白金ピストンの部分は温度を上昇せしむる時爐内は相當高温となるにも拘らず爐外の部分は常温なるを以て其抵抗の値を求むる事は不可能なるが故に豫め試料と同一の長さ即ち 30 mm の白金棒を 2 つのピストン間に挟み常温より 1,000 度迄加熱し各 20 度毎の抵抗の値を求め以て各温度に相當する白金ピストンのみの抵抗を算出し置き實驗結果に補正を施せり。

(2) 電氣爐の温度を測定する白金及び白金ロヂウム熱電對の冷接合部を冷却せしむる爲め水を入れたる魔法瓶にして常に零度に保ちて測定したり。

(3) 温度測定用ミリボルト計にして純金屬を使用し前記の熱電對を用ひて嚴密に補正を施したるものなり。

(4) 電流計にして電氣爐に送る電流を讀むに使用す。

(5) 箱型抵抗器にして 3 個を連結し 0.1 アムペアを任意に加減せしむ。

(6) 鏡電流計

(7) ダブル・プラグ・キー

(6) J. Chem. Soc., 1920, 839.

- (8) スチューデント・ガルバノメーター
 (9) キルヒホッフ橋にして、10 及 100 オームの標準抵抗を使用して補正を行ひたり。
 (10) 開閉器

第 4 章 電氣抵抗測定方法

電氣抵抗測定方法を述べれば第 1 圖の如く装置し (10) の開閉器を開閉して鏡電流計の動くや否やを検す若し少しにても動く時は導線の接續等に不備の箇所あるに基因するものなるが故に少しも動かざる迄調整するを要す。かく調整せられたる時電氣爐に電流を通じ常に抵抗器を加減して 1 分間約 15 度の割合にて殆んど直線的に溫度を上昇せしむ、而して最初は 5 分毎に鏡電流計が動き初めてより 1 分毎に所要溫度に達したる後は 5 分毎に溫度及抵抗の値を読む、而して鏡電流計の動き始めは極めて緩漫なるが故に硝子尺度上に映りたる鏡の像が 10 mm 動きたる時の溫度を以て石炭が骸炭に變化する轉移溫度とせり。溫度の上昇に従ひ抵抗は次第に減少するが故に、初めに抜き置きたる抵抗器の 10,000 オームの箇所と 1,000 オームの箇所とのプラグを差し換へざれば抵抗の値を測定する事能はざるに至る、其差換への際鏡電流計を用ふる時は抵抗の變化甚しきため鏡を懸垂せる線を振り切るの恐れあるのを以て (7) のダブル・プラグ・キーを使用して (8) のスチューデント・ガルバノメーターに連結しキルヒホッフ橋の鼓胴を廻轉しつゝ時々開閉器 (10) を開閉して指針を 0 點に來らしめたる後再びダブル・プラグ・キーによりて鏡電流計と連結し以下同様の方法を繰返し所要溫度に達したる時其溫度に 2 時間保持し次に電氣爐への電流を遮斷し冷却を行ひ 5 分毎に溫度並びに抵抗を測定したり。

第 5 章 實 驗 結 果

前述の方法により測定したる電氣抵抗の結果を示せば第 2 圖乃至第 8 圖の如し。圖中縦軸は電氣抵抗を對數にて表はしたる値にして横軸は時間を示せり。

今是等の曲線集を基礎として骸炭化作用に對する溫度の影響を計算せんとす。是等の曲線は凡て殆んど双曲線を示し居るを以て次式にて表はさるべきものとす、即ち

$$xy = a$$

式中 x は骸炭化作用の終了する時間 (分)、 y は骸炭化したる後の想定溫度の電氣抵抗 (オーム)

a は各曲線特有の定數

而して a は各溫度に於ける骸炭化速度に關係するものにして a の大なるものは此作用遅く小なるものは速し。

次に開平炭を 600 度に加熱せし場合の實例によりて説明せんとす。今其の測定結果を表示すれば第 2 表の如し。

上述せし如く電氣抵抗の時間に對する變化は双曲線の關係に在るを以て

$$xy = a$$

にて表はさる。今 $\frac{1}{y} = Y$ と置く時は $\frac{x}{Y} = a$

となり之れは直線を表はす事となる。

今第2表中の x の値を横軸に、 $\frac{1}{y}$ 或は Y の値を縦軸にとり曲線を描く時は第9圖に示すが如く殆んど直線となる、而して上式の a なる定數は其傾角を表はす、故に第2表及び第9圖より

$$a = 19,666$$

従つて $xy = 19,666$

此の實驗式に依り 600° に於ける骸炭化完了の時間を計算することを得。

$$y = 3.5 \text{ オーム}$$

(但し y の値は 600 度に於て得らるべき最後の抵抗の値にして 650 度乃至 900 度にて實驗せる冷却曲線より最も適當なる値として誘導したるものなり)

故に $x = 5,697$ 分

即ち開平炭を 600 度に加熱する時は石炭の全部が骸炭となるに 5,697 分即ち約 4 日間を要するものなる事を示せるなり。同様にして 650 度乃至 900 度の値を求めたり。本實驗の結果より 600 度に於ては作業上殆んど望みなく又 900 度の温度に達する時は殆んど骸炭化が終り其温度に保持するの要なく且つ骸炭爐の實地作業に於ても其中心部が 900 度に達する事は寧ろ稀なるが故に最初に實驗せる開平炭以外は凡て 650 度乃至 850 度迄の實驗に止めたり。

第 6 章 結 論

今實驗の結果より結論せんに本實驗に使用したる石炭は何れも 500 度内外の温度に於て骸炭に轉移するものにして骸炭化の完結する時間は温度の上昇と共に短縮せらるゝものなる事を數字的に示すを得たり。第3表は焼成温度と時間との關係を表示せるものなり。而して本實驗に使用したると同一の石炭を用ひ中央部の直徑 230mm 長さ 600 mm にして骸炭の約 10 kg を焼成し得る電氣爐にて 600 度乃至 850 度にて焼成せる骸炭の潰裂度 (crushing strength) を測定せる結果は開平炭及び二瀬開平配合炭の如きは 750 度にて焼成せるものにて當所ソルベー式骸炭爐にて試験焼せるものに遜色なく又 750 度焼成のものを 800 度及び 850 度のそれと比較するに何等差異なく、即ち石炭の種類によりては温度高き場合必ずしも堅實なる骸炭を生ずるものに非らざるを實驗的に證明せり。

即ち優良なる骸炭を最も經濟的に製造せんには先づ理論的に焼成の温度と時間との關係を求め、次に其温度と其時間にて焼成したる骸炭に就きて試験を行ひ、以て最良の條件を求めざるべからず。

第 1 表

化 學 分 析 結 果

炭 種	工業分析%				原素分析(%)					比 重	發熱量 ボカメ ンロー アリダ	備 考
	水分	揮發分	固定炭素	灰分	炭素	水素	酸素	硫黃	窒素			
開平粉炭	1.52	28.36	54.06	16.06	68.47	4.47	7.61	0.882	0.99	1.4114	6,740	
二瀬中央坑粉炭	1.39	35.49	49.62	13.50	70.57	4.82	8.05	0.875	0.79	1.4243	6,631	
高島粉炭	0.96	35.06	57.72	6.26	78.60	5.37	6.78	0.892	1.14	1.3156	7,935	
夕張粉炭	1.05	40.17	47.61	11.17	72.99	5.40	7.83	0.266	1.29	1.3266	7,294	
三池粉炭	0.56	38.08	45.93	15.43	70.00	5.32	2.87	4.886	1.03	1.4256	7,264	

第 2 表

時間 (分) <i>x</i>	溫度 (°C)	電氣抵抗 (オーム) <i>Y</i>	對數にて 表はせる 電氣抵抗	傳 導 度 (モ-) <i>1/y</i>	時間 (分) <i>x</i>	溫度 (°C)	電氣抵抗 (オーム) <i>Y</i>	對數にて 表はせる 電氣抵抗	傳 導 度 (モ-) <i>1/y</i>
0	0	—	—	—	55	600	4,170	3.6201	2.40 × 10 ⁻⁴
5	35	—	—	—	60	—	3,741	3.5720	2.67 × "
10	75	—	—	—	65	—	3,408	3.5324	2.93 × "
15	130	—	—	—	70	—	3,218	3.5075	3.11 × "
20	195	—	—	—	75	—	2,855	3.4556	3.50 × "
25	276	—	—	—	80	—	2,650	3.4232	3.77 × "
30	340	—	—	—	85	—	2,482	3.3948	4.03 × "
35	410	—	—	—	90	—	2,247	3.3516	4.45 × "
40	490	—	—	—	95	—	2,098	3.3218	4.77 × "
42	520	—	—	—	100	—	1,905	3.2798	5.25 × "
43	540	14,899,337	7.1721	—	105	—	1,737	3.2397	5.75 × "
44	555	2,971,518	6.4729	—	110	—	1,691	3.2281	5.91 × "
45	575	1,399,946	6.1450	—	115	—	1,548	3.1897	6.46 × "
46	590	535,994	5.7371	—	120	—	1,514	3.1801	6.61 × "
47	600	317,465	5.5018	0.0315 × 10 ⁻⁴	1	598	1,510	3.1789	—
1	"	143,726	5.1575	0.0696 × "	5	565	1,828	3.2619	—
5	"	57,115	4.7567	0.175 × "	14	500	2,765	3.4416	—
10	"	27,635	4.4417	0.362 × "	25	440	4,242	4.6275	—
15	"	18,052	4.2565	0.554 × "	35	400	5,934	3.7733	—
20	"	13,489	4.1239	0.741 × "	45	360	8,260	3.9169	—
25	"	10,541	4.0228	0.949 × "	63	290	15,720	4.1964	—
30	"	8,173	3.9123	1.22 × "	88	245	25,428	4.4053	—
35	"	6,957	3.8424	1.44 × "	108	205	39,909	4.6000	—
40	"	5,909	3.7715	1.69 × "	118	185	51,028	4.6992	—
45	"	5,198	3.7129	1.92 × "	—	—	—	—	—
50	"	4,643	3.6667	2.15 × "	—	—	—	—	—

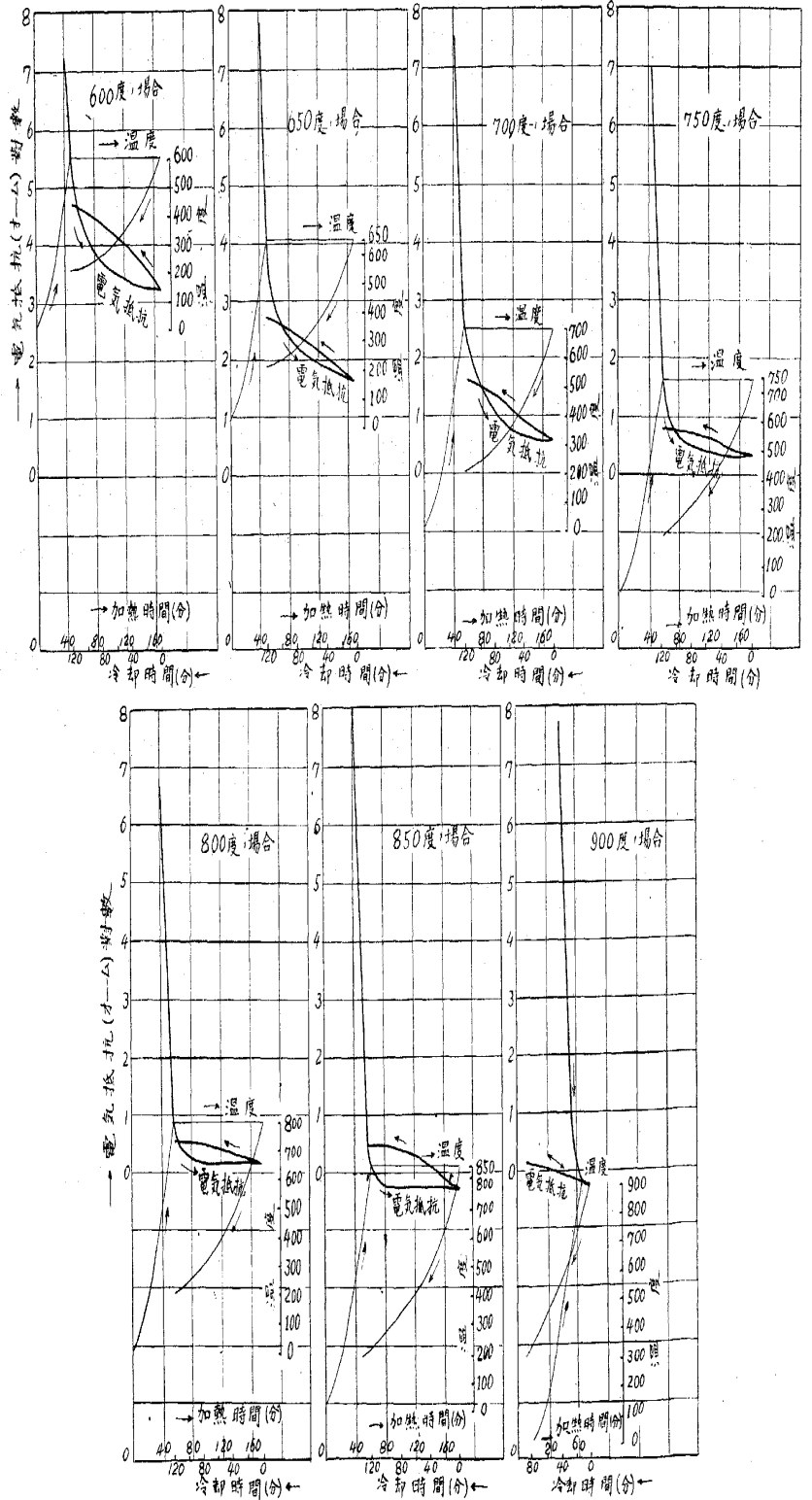
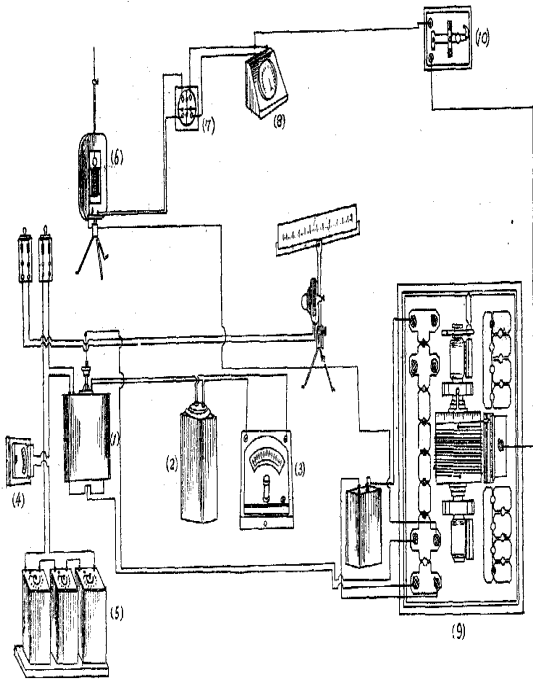
第 3 表

燒 成 に 要 す る 時 間

燒成溫度	開平粉炭	二瀬中央坑粉炭 (400°Cに豫熱せるもの)		高島粉炭 (400°Cに豫熱す)	夕張粉炭 (400°Cに豫熱す)	三池粉炭 (400°Cに豫熱す)	二瀬開平 配合炭
		分	分				
600°C	5,697	—	—	—	—	—	—
650	1,623	1,335	1,653	1,454	1,260	1,764	1,376
700	223	207	203	230	256	273	228
750	96	90	98	93	98	97	94
800	38	27	31	30	30	31	27
850	19	14	17	18	17	16	19
900	3	—	—	—	—	—	—

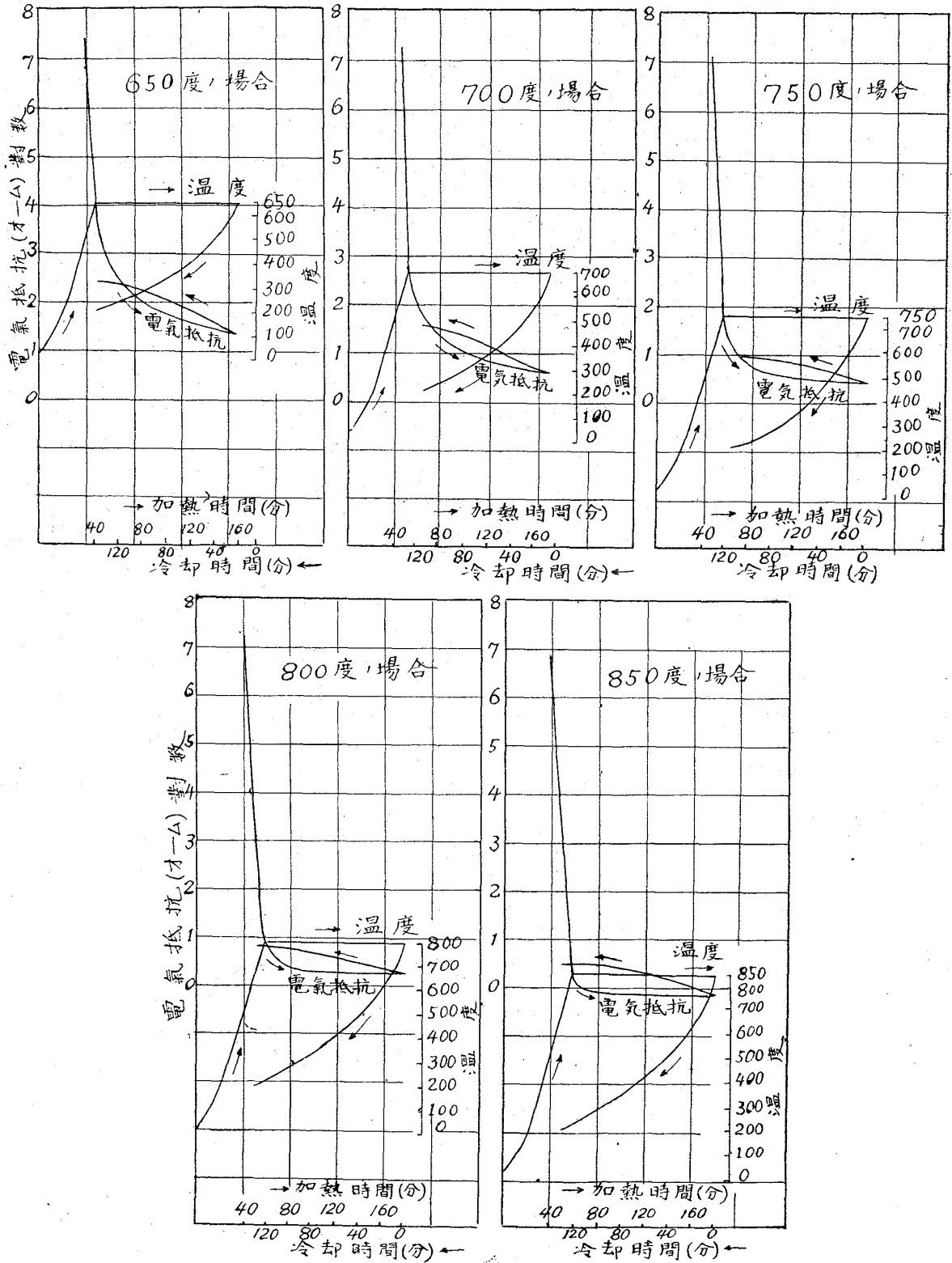
第 2 圖 開 平 炭

第 1 圖

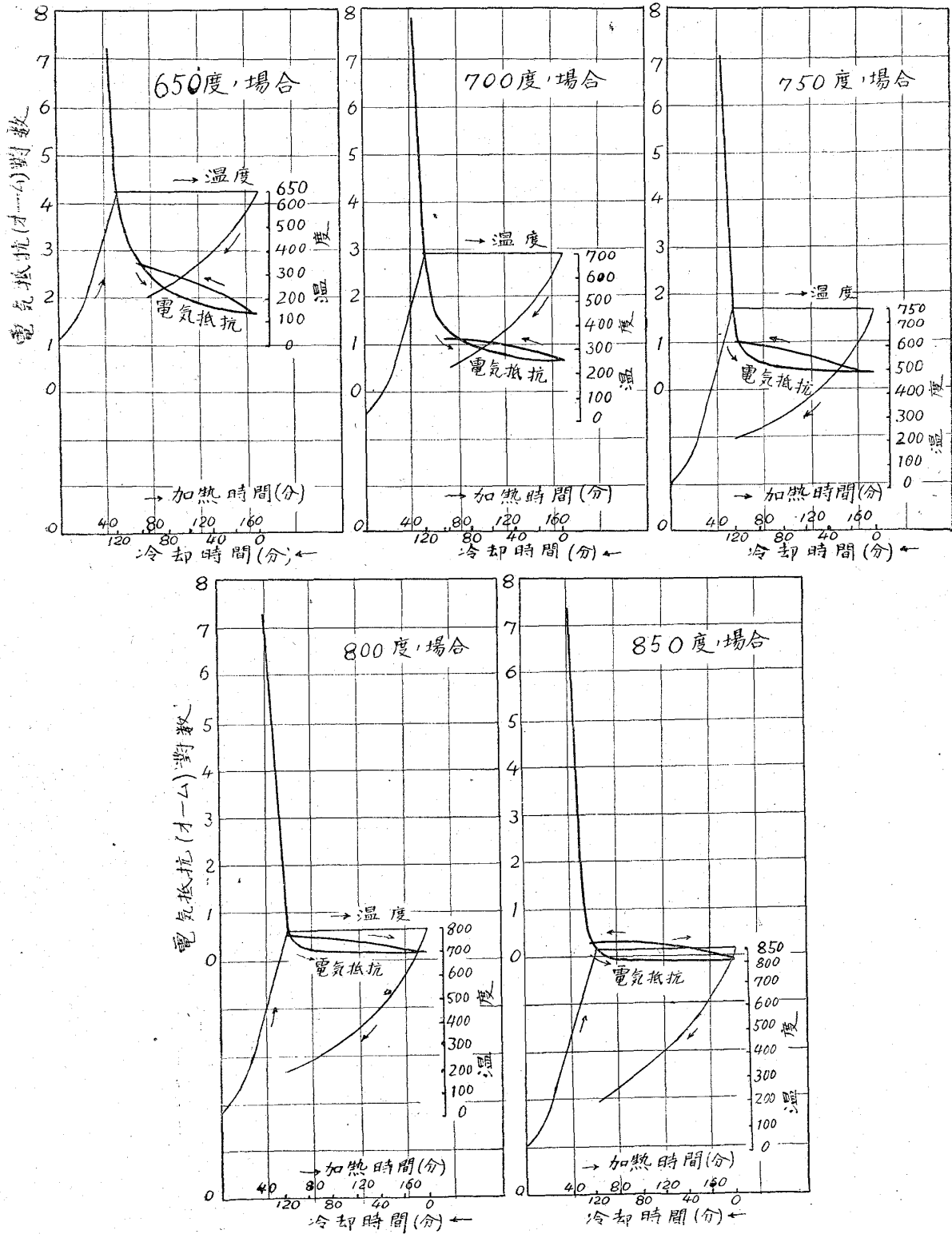


第 3 圖

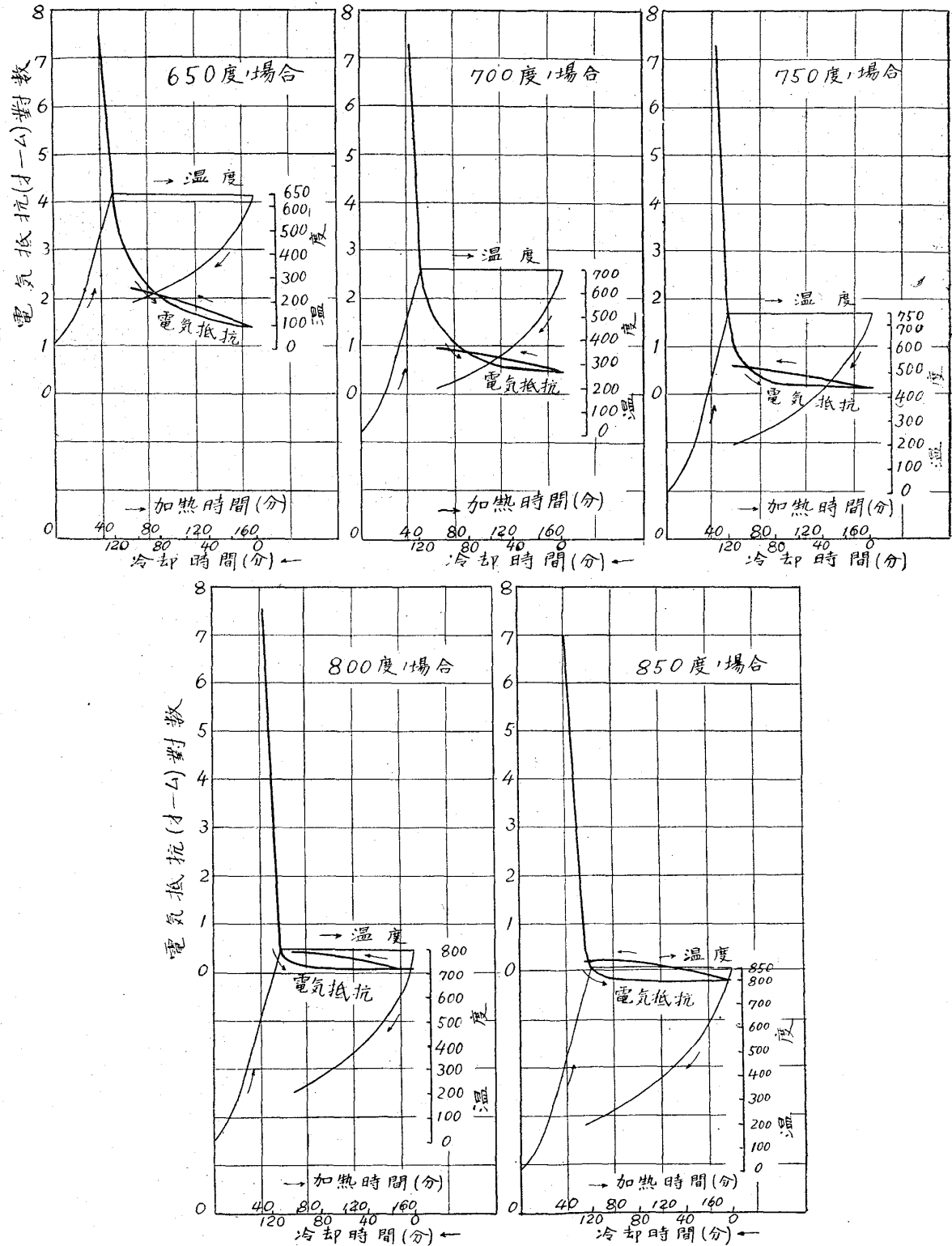
二 瀨 中 央 炭



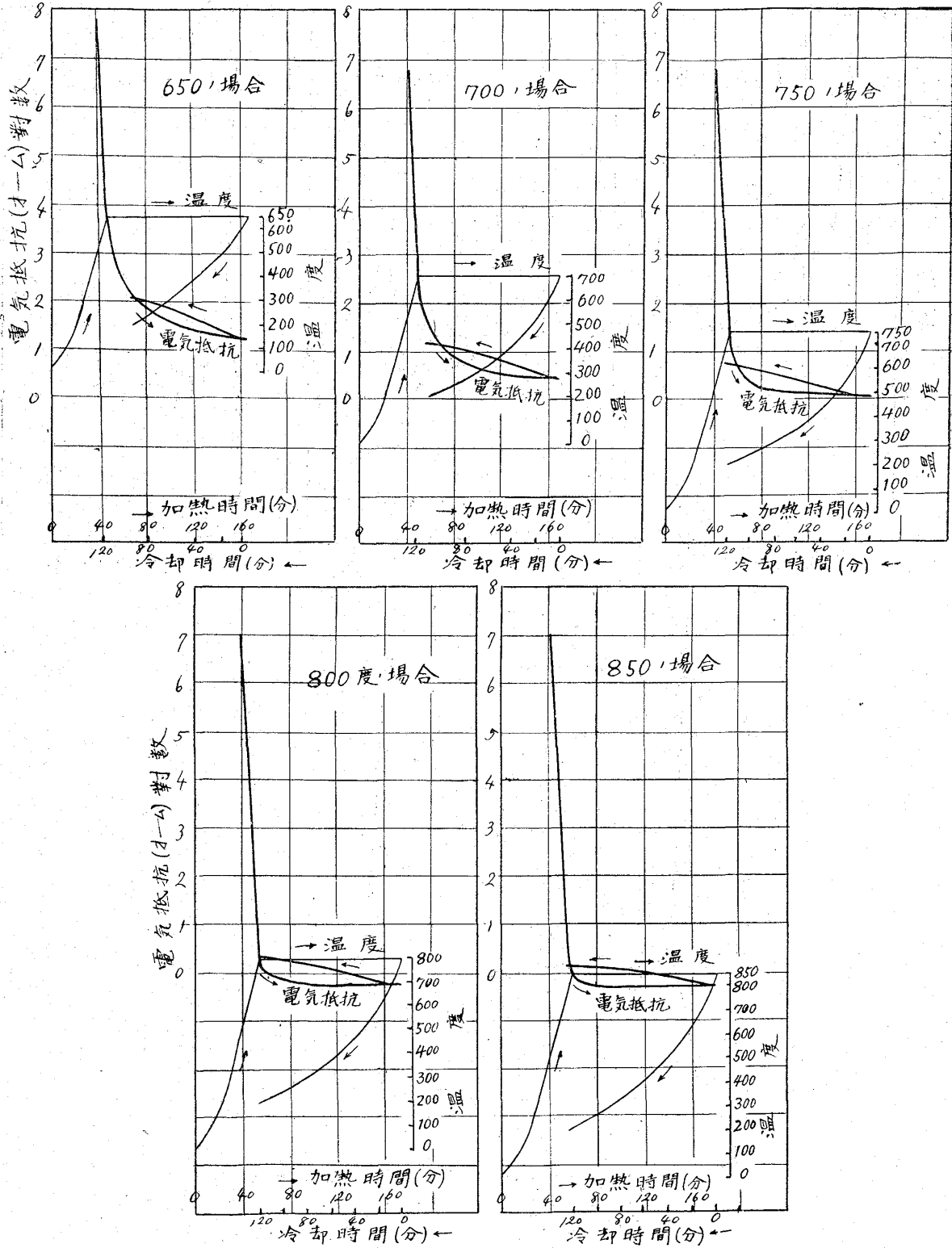
第 4 圖 二瀨中央炭(400度に豫熱せるもの)



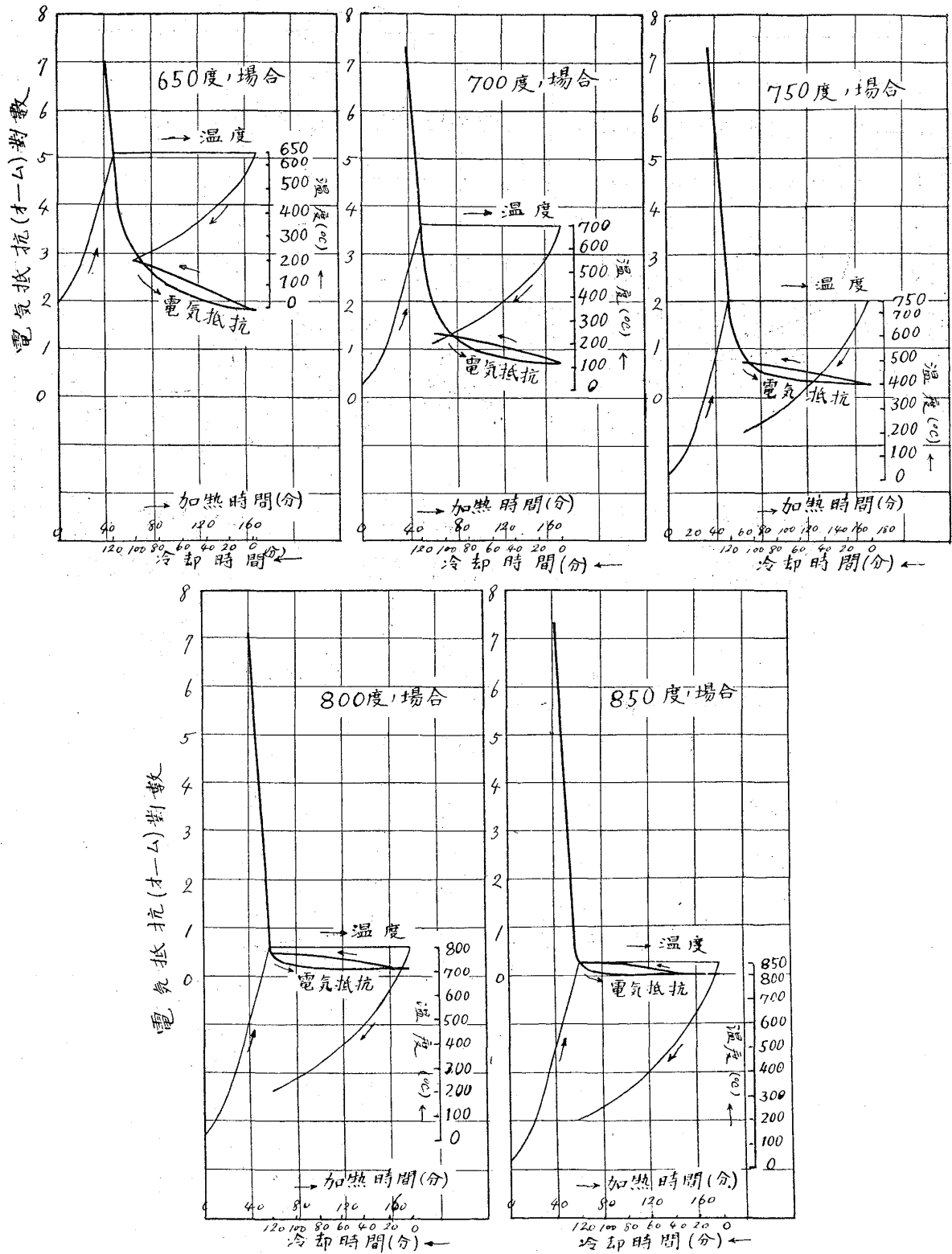
第 5 圖 高 嶋 炭



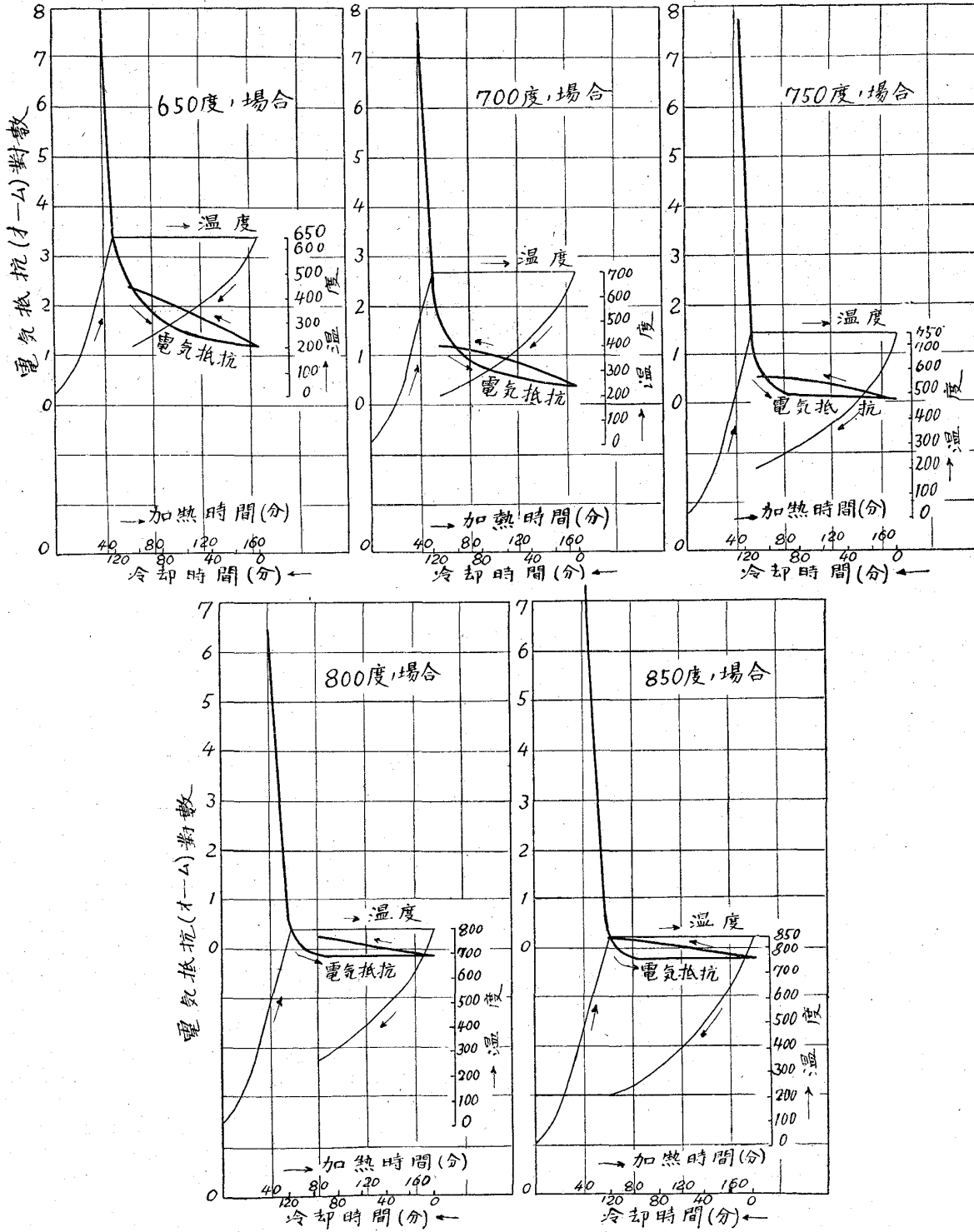
第 6 圖 夕 張 炭



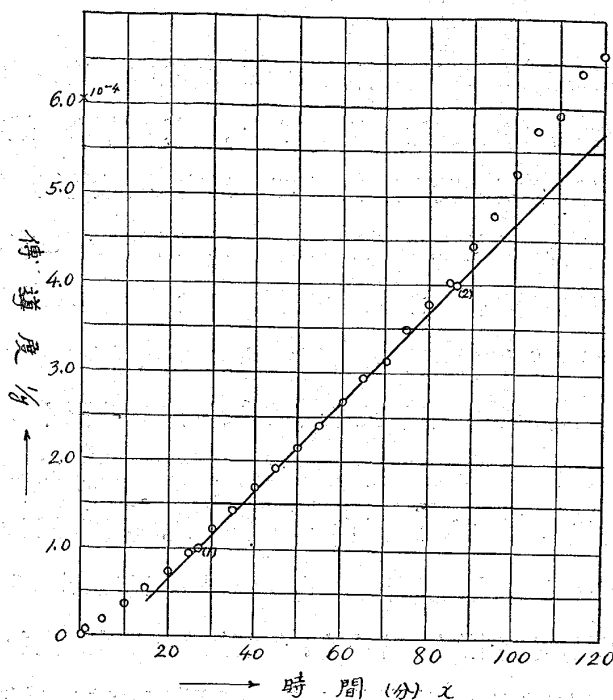
第 7 圖 三 池 炭



第 8 圖 二 瀨 開 平 配 合 炭



第9圖 開平炭



可鍛鑄物製造に於ける充填物質に就て

菊田多利男

ON THE PACKING MATERIALS IN THE MALLEABLE IRON FOUNDRY.

Tario Kikuta:

In the malleable iron foundry, it is generally believed that packing material is very important in annealing white cast iron to get a good malleable iron casting, but as the theory of annealing white iron has shown, the packing material is not necessary to make black heart malleable cast iron, although it is very important in obtaining white heart malleable which is manufactured by decarburizing castings. The author made a special installation and measured the decarburizing amount by the evolved gas during heating white iron castings at a high temperature; by this experiment it was possible for him to explain the mechanism of decarburization.

In addition, the author measured the following effects:-

- (1) The effect of the temperature on decarburization of castings when packing material is not used;
- (2) The effect of the amount of iron oxide on decarburization at a constant temperature;
- (3) The effect of the temperature on decarburization when packing material is used;
- (4) The effect of various oxidizing materials on decarburization when they are added to iron oxides.

After these effects were thoroughly examined, the author annealed several test pieces of white cast iron of same material in a large furnace with and without packing material, and tested the annealed pieces in these two cases. The effect of decarburization upon the tensile strength and the tenacity was also studied.

Finally, the author measured the thermal conductivity of several packing materials and recommended an ideal process of annealing white iron castings for the production of black heart malleable iron.