金屬面と沸騰水との間の傳達熱の極大値竝に極小値決定の實驗

(昭和 4 年 4 月 3 日 第 6 期定時總會講演會及昭和 8 年 11 月 25 日仙臺地方講演會に於て講演)

正員 工学博士 拔山 四郎(1)

The Maximum and Minimum Values of the Heat Q Transmitted from Metal to Boiling Water under Atmospheric Pressure

By Shirô Nukiyama, Kôgakuhakusi, Member

摘 要

金屬固體面より沸騰水に傳る熱量 Q はそれ等の間 の溫度差 ΔT が増加するに從つて漸次増加するが、或點に達すると ΔT をこれ以上増せば Q はかへつて減少する様になる。 此點が表題に示すに云ふ傳達熱の極大値であつて本文に於ては實驗的に此の如き點の存在を證明し、1 気圧のもとでは此點に相當する ΔT は水溫 100° C に於て 20° C 乃至 40° C に過ぎず、また此場合の Q は 30 乃至 50 cal/cm² sec 即ち 1,080,000 乃至 1,800,000 kcal/m² hr に達し之を 100° C に於ける等値蒸發率で表はせば 2,000 乃至 3,000 kg/m² hr であつて從來考へられて居つた Q の最大値より桁違ひに大なる事を示した。又極大値に對應して必ず存在する Q の極小値(最小値に非ず)も求め且つ此等 ΔT と Q との高溫部に於ける關係曲線が金屬の燒入れ効果に關係ある事を述べた。

1. 結 論

蒸気罐の 蒸發率即ち 單位面積單位時間當りの 蒸發量を 増 す事は蒸気罐の 1 馬力當りの大さを減少し、又は火を 焚き始めてから 蒸気發生迄の 時間を 短縮する事などの為に 必要である。もしこの蒸發率從つて傳達熱 Q に極大値があれば之を強め求めて置く事は此方向の研究の目安になつて好都合と思はれる。本文は主として此極大値決定を目的とした實験報告であるが極大値と共に必ず存在する極小値も實験的に求めた。

元來沸騰といふ現象が極めて複雑である爲この場合の熱移動を理論的に取扱ふ事は困難であつて現在ではディメンションの考へすらまだあてはめる事が出來ず、從來ある研究は實驗的のもののみである。之もあまり多數はない。今

$$Q = \alpha \cdot \Delta T$$
(1)

但し Q は金屬面より水に單位面積單位時間毎に移る熱量、a は熱傳達率、AT は表面と水との温度差、として從來 AT と a 又は Q との關係を求めて居る。それ等の中で重なものに Austin⁽²⁾ 及 M. Jakob u. W. Linke⁽³⁾ のものがある。 之は比較の爲めに第 1 圖下方に a, b, c で示した。 この中 Austin のものが大體 AT の増加と共に a が増し漸次 a=7,000 kcal/m² hr°C=7,000/36,000=0·194 cal/cm² sec

水温 100°C α=7,000 kcal/m² hr°C と云ふ結果が報告されて居る爲めと

によつて α の最大値が上記の値として 從來書物に引用せられて居つた。 もし α が漸近的に上記の 0.194 cal/cm² sec °C に近づくなら Q は ΔT と共にいくらでも大になる事に

なる。

°C に近付きさらな傾が見えるのと 別に水を攪拌した場合に

^{50 18×10&}lt;sup>5</sup>
18×10⁵
10×10⁵

本文の内容の過半は昭和 4 年 4 月大阪に於ける総舎で講演したものであるが其後實験結果を追加する爲め意外に誌上發表が遅れた。

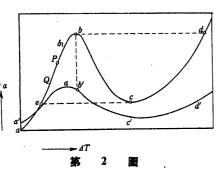
⁽¹⁾ 東北帝國大学教授

⁽²⁾ Austin, V. D. I. 1902 s. 1894.

⁽³⁾ M. Jacob u. W. Linke: Fors., 1933—3 pp. 75—80. (機械学會誌昭和8年7月號摘錄〔82〕參照)

しかし沸騰が激くなつて表面から蒸気泡が盛に 發生すれ ば附近の水は充分に攪拌されて α が ΔΤ と共に増加する 傾向はあるが 同時に 傳熱率の 比較的大きい 水の代りにその 1/20 以下の傳熱率を有する水蒸気が出來るのであるからこ のためには a は却つて減少する傾向が起る筈である。 此等 2 つの反對の傾向の中で沸騰がゆるやかな間は第 1 の傾向 が强い爲め α も Q も ΔT と共に 増すが之が劇しくなる と金屬面附近は大部分水蒸気のみによつて占められ附近には 最早攪拌さるべき水が 殆どないと 云ふ 狀態に 到達せねばな らない。 此様な狀態になれば 上記の第2 の影響が主になり 最後には金屬面と水蒸気との間の熱移動の問題になつてしま う。 此場合には 從來知られて居る樣に △T が 100°C とか 200°C とか云ふ程度ならば a の値は如何に大であつても數 十 kcal/m² hr を越える事はない。即ち ΔT-α曲線は ΔT が大になるに從つて先づ上方に向(第2圖)ふが ДТ がさら に大になれ

ばはぬ (1) くのか 滅て 方ば Qの Aで a 始ら し直 は如 T る が めに



2. ΔT と Q 及 α との關係曲線第 2 圖の吟味

何等か特別な裝置を用ひて金屬面の温度を一定に保つて居る場合は別であるが、一般に傳熱面の温度はそれに供給される熱量とそれから水に傳はる熱量とが等しい様な位置で平衡状態に達する。今、平衡狀態に於て傳熱面に供給される熱量即ち傳熱面から水に傳はる熱量を Q とすればこの Q に相當する點第2圖 Pがその場合の AT を興へ表面温度は AT と水温との和になる。次に供給熱量を少し増せば P 點はそれだけ 6 點に近付いて平衡狀態になる。かくして P が 6 點に達したとする。 次にさらに 僅でも熱の供給を増して AT 大にすると P は b を越え Q は減少する。 從つて供給熱と Q との差だけは傳熱面の材料中に蓄積され爲めに AT はさらに増大する。かくて Q はますます減少し AT は増大し P は止まる事なく b, c, d の方向に急激に移行し終に b

とほぐ同じ高さの點 d に達して平衡狀態になる。 實驗に際 しては傳熱面に供給する熱量を零より次第に增加し、表面溫 度を斷えず讀み取るならばδ點に到つて溫度が急變するので 此點に達した事を知り得る筈である。後記の如く著者の實驗 結果によれば δ 點に於ける Q の値 Q_{max} は表面の曲率に よつて變るが大體 30 cal/cm² sec 以上が多い。 故に假に $Q_{\text{max}} = 30 \text{ cal/cm}^2 \text{ sec}$ と考へ金屬面と水蒸気との間の α を 大體推定して計算して見ると d 點の溫度は大體白金の液化 温度の程度である事がわかる。 從つて多くの金屬は 6 點を 少しでも越えれば直ちに b, c, d と走り dに達する前に融け る事になる。 6 點に相當した AT は 40°C 以下であるから 金屬面の溫度は 140°C 以下であり この温度では特殊の合金 以外は皆固體であるが後記の様に針金を用ひて實驗すると溶 融點 170°C 位のヒューズでも鉄、ニッケル、ニクロム、白金の 何れも一様にあたかもこの 6點で融けてしまら様に見える。 唯特に細い白金線を用ひその表面を傳熱面とした場合には直 径小で Q_{max} が小な爲め d 點が實在し水中で輝てゐる。此 時 Q を少しづ Δ 減ずると狀態は d から δ に歸らず d, c に 沿つて ΔT が減じ c 點に達すると前と同じ理由で狀態は急 激に變つて c と同じ高さの點 e に行つて止まる。d, c の間 は所謂スフェロイダルの狀態である。

此研究は上記の事柄を實験的に確めるのが目的であるが、 Q_{max} が非常に大きいので傳熱面として脚註 (2)(3)其他の研究者が使つた樣な平面を用ふると此樣な大きな熱を後側から供給する事が出來ない。例へば傳熱面として薄い金屬板を用ひ一方に水を置き他方からブンゼン燈で直接熱しても Q_{max} の數分の一の熱量しか供給し得ないであらう。よつて實驗は次の2種にした。

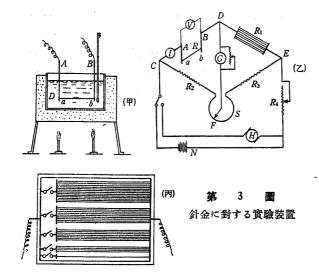
第 1. 細い針金の表面を傳熱面に用ひ、此針金を水中に張り電流を通じて必要な熱を給する。此實驗では針金の材料を變え直径を變へ且つ水溫も 100° C 以下にして見て δ 點を求めた。又細い白金線で Q の極小値も求めた。

第 2. 平面に對する同様な實驗を行つたが熱量の關係で直径 10 mm 及 6 48 mm の円形平面を上方に向けて用ひた。

3. 第1の實驗。針金の表面に對する $\Delta T \ge Q, \alpha \ge 0$ 關係

實驗裝置 第 3 圖甲の D は蒸溜水を入れた硬質硝子器で約 $15 \, \mathrm{cm} \times 15 \, \mathrm{cm} \times 24 \, \mathrm{cm}$ の大さを有す。之を砂に埋め下から瓦斯で熱し又は中に絕緣した電熱線を入れて水を大気圧のもとで沸騰温度に保つ。a, b は長さ $20 \, \mathrm{cm}$ の實驗用針金で其兩端は直径 $3 \, \mathrm{mm}$ 位の太い銀線又は= v ケル 鍍金した銅線aA, bB にハンダづけする。A, B の端には 充分太い銅線をつなぎ之に電流を通じて ab に必要な熱量を供給するのであるが數十アムペアの直流を通すので aA, bB に裸銅線を用ひたり、容器 D として金屬を用ひたりすると電解作用によって水が不純になるをまぬかれない。 此を防ぐ爲め aA, bB には硝子のさやをはめた。若し電源として交流を用ふるならば電解作用はなくする事が出來るので少しく之を試みたが溫

[第 37 卷 第 206 號



度、電流、電圧等の測定に不便多く失敗に終つた。

電気的接續は乙圖に示した。CDEFがホキート・ストーン 電橋をなし CD 間に試驗用針金 ab が這入るが ab 以外の部 分は充分太いので CD 間の電気抵抗は ab のもの數オーム のみと考へ得る様にした。 R_1 , R_2 , R_3 はマンガニン線抵抗 である。 その内 R_2 , R_3 は數百オームとし電源から來る電 流の大部分は CDE を通り R_2 , R_3 を通るものはその 1% 以下とした。尚ほ R_2 , R_3 は油中に入れてその温度の大きな 變化を防いだ。 R_1 は ab と同大の電流が通るので丙圖に示 す様に細いマンガニン線數十本を琴絲狀に銅片間に張り全部 を 60 cm×40 cm 深さ約 5 cm の油槽中に入れた可變抵抗 であつて之は試料 ab とほゞ同じ抵抗に加減して用ふる。こ の部を通る電流が大きい爲め油の温度は實驗中に 20°C 以上 も昇り得るがマンガニン線を用ひてあるからこの爲めに起る R_1 の變化は本實驗に於ては無視出來る。S は 30 オームの 辷り線抵抗、G はガルヴェノメータ、N は電池、H は直流 發電機、V は電位計、I は電流計である。

Q の極大値決定の實驗並に其結果。實驗中に ab の溫度を電橋で讀む爲めの前實驗として ab を油中に入れ此油の溫度を 50° C より 150° C 位迄變じ N からの微小電流を用ひて油溫 $(^{1}/_{10}\,^{\circ}$ C 目盛の水銀溫度計でよむ)と G の平衡位置に於ての S の讀みを取つてそれ等の 關係曲線を引いて置く。此場合の使用電流は充分小さいので針金の溫度は油の温度に等しいからこの曲線は S の讀みと針金の溫度との關係曲線になる。從つて電流が大になつて針金 ab の溫度が周圍の水溫より高くなつた時にも G の平衡位置に對する S を讀み取れば上の曲線によつて ab なる針金自體の溫度を知り得る。

この油に入れての實験は針金の表面を汚して後の實験に好ましからぬ影響を與へるので同種の針金に對しては1 同だけ之を行ひ、後は油の代りに水を用ひて 50°C 乃至 100°C の間で同様な實験を行ひ、100°C 以上の部分は前の油中の實験結果にならつて延長した。

次に ab を第 3 圖甲に示す D なる容器に入れ、容器内の水がブンゼン燈等で所要の温度に達した時 Hによつて大きな電気を R_4 で調節して送る。電流は大體 1 amp. より始め 昭 和 9 年 6 月 1

0.5 amp. 乃至 1 amp. 位づょ時して I, V, Sを讀み、Q の極大値附近では電流をゆつくり聯續的に増してゆき S をそれに從つて辷らせて G を絶えず平衡位置に置く様にする。 ab の狀態が Q_{\max} に達すると 旣述の様に 針金の一部が 融け切れ G は急激に振れるから此時の I, V, S の讀みから Q_{\max} とそれに相當する ΔT を知る。此時 G の饒切れるのを防ぐ爲め自動遮斷器を用ひた。實驗に際して針金 ab の左右牛分づょの間に幾分電解作用が起り此が溫度の讀みに誤差を與へるので實驗をなる可く短時間で終る爲め本實驗の目的たる Q_{\max} 決定に影響のない電流の小さい部分はなるべく粗に行つた。 d を針金の直径 cm, L をその長さ cm, I amp. V volt, e 電流計と電位計の讀みとし Q は次の式から算出した。

$$Q = (1/\pi .d.L)(I.V/4.184)$$
 cal/cm² sec(2)

針金の表面と水との溫度差 ΔT は S の讀みに對應した針金の溫度と水銀溫度計で測つた水溫との差を取つたが之には次の2 つの事に注意せねばならない。即ち(4)針金の表面溫度 T。 の間に差があれば之れだけ ΔT に誤差が入る。

念の爲め之を計算する爲め先づ電流による發熱が針金の內部で均一に起ると假定する。この場合には (T_0-T_r) は普通書物にある $^{(4)}$ 如く次の式で求められる。

$$T_0 - T_r = Wr^2/4\lambda \dots (3)$$

但しWは針金の單位容積單位時間當りの發熱量、rは半径、 λ は傳熱率である。單位長さの針金の表面から水に傳はる熱量 $2\pi rQ$ は其內部の發熱量 $\pi r^2 W$ に等しいから (3) 式は

$$T_0 - T_r = Qr/2\lambda$$
(4)

となる。此 (T_0-T_r) は白金線、ニッケル線に對しては最大 1°C 以内、ニクロム線に對しては最大 2~3°C の程度である。 此差をも少し正しく計差するには針金の内外部の温度差に伴 ふ 電氕抵抗の違 ひ も 考慮に入れるべきである。即ち外部は 低温即ち低抵抗の爲め電流を多く通す。 此考へで (T_0-T_r) を求めると簡單な置換によつてべ,セル函數の解を得て 此値 は(4)式のものより小でありそれとの違ひは最大 ½°C を 越えない。 本實驗では實驗結果の不均一さ及次の (ロ) 項の 考へから見てこの違ひは勿論、(4) 式の値による arDelta T の正 誤すらも度外視して よい。 之を正誤するは容易であるがし かし(ロ)項と考へ合せば此正誤によつて結果が正しい方に なほされたとは必ずしも云へないと思ふ。(ロ)針金の表面溫 度は決して均一ではない。之は蒸気の發生が不均一の爲めで ある。蒸気泡は蒸發のゆるやかな間は表面の恐らくはキズ又 は不純物のある所から發生するらしく表面の所々の定位置か ら數秒引續いて發生しそれが止ると他の箇所から同樣な蒸气 泡が發生する。蒸發が劇しくなると針金全部が蒸气泡に包ま れてしまつて外部からは見えなくなるがやはり表面に於ては 蒸氕に接して居る所と水に接して居る所とある筈である。此 爲め針金の溫度は決して一樣ではなく上記の實驗方法では單 に平均温度を出すに過ぎない。この温度の不均一さはとの

⁽⁴⁾ 例へは大賀惠二、傳熱諸論ミ共適用 p. 139。

位あるか不明であるが水に直接に接して居る金屬面が必ず100°C とするならば不均一さは少くも *AT* だけある事になるが水に接した金屬面は周圍の水の沸騰點より高い⁽⁵⁾らし

第 1 表

種類	直径 d mm	長き L mm	實驗數
白 ・	0°14 0°14 0°40 0°535 0°575	200 200 200 200 200 200	8 10 20 7 9

第2表 = ツケル線 No. 6 の實験結果 直径=0.40 mm

amp.	volt	watt	cal	Q cal/cm² sec	ΔT	a cal/cm² sec°C	a'kcal/m² hr°C
1.2 4 8 10 15 20 25 30 34 35 38 39.4	0.25 0.8 1.6 2.0 3.1 4.1 5.2 6.1 7.0 7.3 7.9 8.2	3·2 12·8 20· 46·5 82·0 130 183 238	0.0715 0.763 3.05 4.76 11.07 19.52 30.96 43.57 56.68 60.85 71.5 76.9	0.0284 0.303 1.214 1.896 4.41 7.775 12.33 17.35 22.57 24.23 28.46 30.6	0'8 4'7 9'3 10'5 12'5 14'3 17'0 19'3 23'5 26'5 30'0 32'5	0.0645 0.130 0.181 0.353 0.544 0.726 0.913 0.965 0.915 0.949	1277 2320 4680 6500 12700 19560 26100 32900 34600 32900 34200 33900

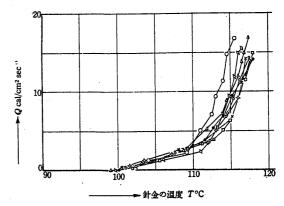
第3表 = クロム線 No. 3 の實驗結果 直径=0.357 mm

amp.	volt	watt	cal	$Q \ m cal/cm^2 \ sec$	ΔT	α cal/cm² sec°C	a'kcal/m² hr°C
1	0.8	0.8	0.191	0.0527	3	0.0176	634
5	4.5	21.0	5.0	1.382	8	0.173	6230
10	8.25	82.5	19.6	5.44	13.5	0.403	15500
15	12.8	192	45.7	12 [.] 66	18.8	0.674	24300
20	17.0	340	81.0	22.42	25.7	0.873	31400
22	18 7	411.4	98	27.15	31.0	0.876	31600
24	20.5	492	117	32.43	35.5	0.914	32900
25	21.4	535	127.4	35.29	38.0	0.928	33400
26	22.3	5 80	138	38.22	44.0	0.869	31300
26.7	23.0	614	146	40.48	46.5	0.860	31000

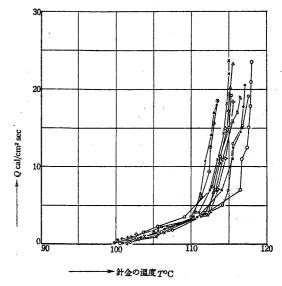
いので不均一さも上の考へのものより小になる。然しながら攝氏數度の不均一さは考へられるので測定結果 も之に相當した不確實さが這入つて居ると云へやう。

實驗は白金、ニッケル、ニクロム、鉄、ヒューズ等の線に就て行つた。鉄とヒューズに就ての結果は他のものと大體同じではあつたが電解作用の爲め甚しく表面が變化するので之が記載は省略する。又實驗結果は 1本毎に可成り違ふので同一寸法のものを幾本も行つてその平均結果を取り得る様にした。太こと實驗回數は第1表に示した。又サムブル・テーブルとして第 2表にニッケルの d=0.4 mm のものの No. 6, 第 3表にニクロム線 d=0.575 mm のものの No. 3 の實驗結果並にそれ等から求めた Q, α 等を示した。最下の行は針金の切れた瞬間の値であるが α にはその以前に極大値 (太字)が現はれて居る。第 4 圖乃至第9 圖は

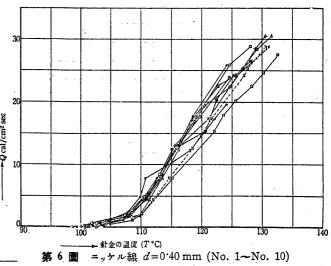
各針金に對する實驗結果で針金の溫度 $T \ge Q$ との關係を圖示したものであるが特に實驗點を直線で結んだ。水溫は何れも約 100° C であり最後の點が針金の切れた點である。此結果は可成り散つては居るが各群に對して代表的な曲線を求めてそれを第 10 圖に示した。第 11 圖にはこの代表曲線から



. 第 4 圖 白金線 d=0·14 mm, 水溫÷100°C



第5圖 =ッケル線 d=0:14, 水温=:100°C



水溫<u>—</u>100°C

「第 37 卷 第 206 號

⁽⁵⁾ M. Jakob u. W. Fritz: Forschung 1931 Dez. s. 441.

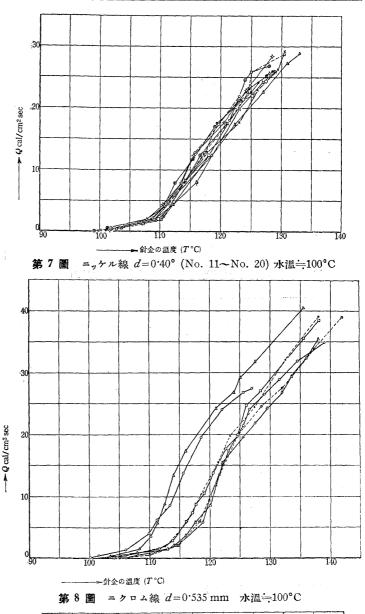
求めた a 曲線を示したが $0.14 \, \text{mm}$ のものは 結果が Ni E Pt とで可成違ふので省いた。

結果に就ての考察。既述の如く針金の各點は 温度の違ひの爲めに第 2 圖 ab 上の位置が違 つて居るが或る1點が6點に達すればその點か ら燒切れる。卽ち實驗で切れた時の針金の狀態 は1部が 6點で他はそれ以下の點にあるから實 驗結果は平均の狀態、例へば 61 の點に相當す る。b と b_1 との距離は針金の直径の小な程大 きいであらうから此爲めに 直径 d の小さいも のでは Q_{max} もそれに對する ΔT も共に小く 出たのであらう。第 10 圖の Q 曲線で d=0.14mm のものは曲線がまだ上方に曲つて居るが d の大なものでは僅ながら下方に彎曲して居つ てやがて水平になるべき傾向を示して居る。即 ち實驗で求めた最後の點は Q_{max} より前の點で はあるが第 11 圖で見る様に α は既に極大値 を越えて居るものが多い。この結果は材料によ つて幾分の違ひはあるが實驗の不正確さを考慮 に入れれば先づ何れの材料でも同一結果だと云 ひ得る。

第 12 圖は水温を 70° C, 80° C 及 90° C に保って d=0.19 mm のニッケル線によつて同様な實験を行つた結果である。水温が降る程 Q_{\max} は著しく大になつて居るが此實験は前のものより困難な爲め ΔT の値には 10° C 内外の誤差があるかも知れない。 第 13 圖は、第 12 圖から求めた d の値である。

Qの最小値決定の實驗並に其結果。裝置は前 と同様であるが、第2圖の d 點の温度を低く する為め Qmax の小さく且つ高温にたえる為め に自金線で直径 0.14 mm のものを用ひた。狀 態が第2圖で 6 から d へ移ると温度上昇の爲 に白金線の電気抵抗 R が著しく増加する。第 3 圖 の回路 C D E R₄ H 中にある抵抗 R₄ が R に比して大である場合には R が増加し ても電流」は大して減ぜず從つて針金中に生ず る熱量 I^2R は著しく増加する。即ち此の如き 場合には第2圖 d 點は b 點より高い位置にあ り温度も高くなつて白金線でも融けてしまう。 然し R4 を小にして置けば d點と b點との高 さの差は小になる。此理由で前記 Qmax 決定の 際は電流の可變範圍を廣くする爲めR4を大に したので 0·14 mm の白金線でも焼切れたが此 處では出來るだけ小さい R4を用ひて饒切れを 防いだ。それでも尚ほ幾分高い位置へと飛ぶ事 は第14 圖上に矢で示した通りであつた。實驗 では高温度に急變せしめた後さらに高温部をし らべ次に電流を減じて極小値を求めた。極小値 附近になると白金線は白色に輝いて居たものが

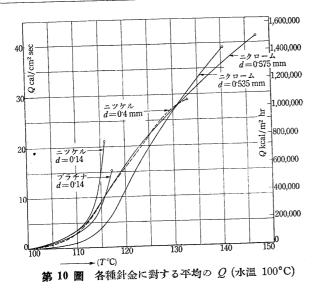
昭和9年6月]。

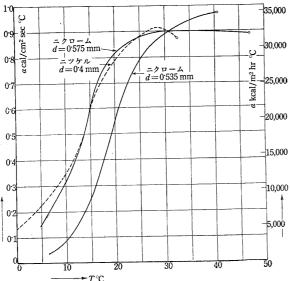


30 30 10 10 130 140 150

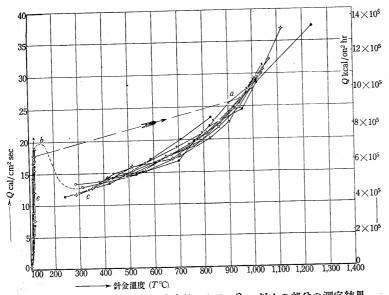
第9圖 ニクロム線 d=0.575 mm 水温:100°C

→ 針金の温度 (T°C)

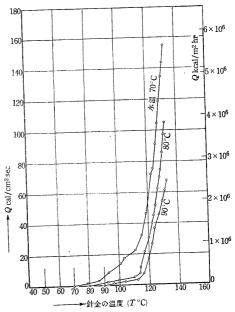




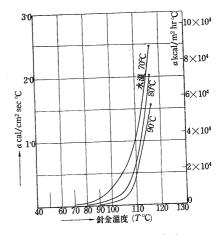
第 11 圖 各種針金に對する平均の α (水温 100°C)



第 14 圏 d=0 14 mm の自金線による Q_{\min} 以上の部分の測定結果



第 12 圖 水溫 100°C 以下の場合の Q



第 13 圖 水温 100°C 以下の場合の α 白金線の直径 0·19 mm

赤色から暗赤色と赤色のブチになり Qmin の點を越えると温度が急降しガルヴァノメータは急振して針金の光は 消えて 最初の 狀態に歸へる。實驗は 12 本に就て行ひ重 なものを第 14 圖に示した。高温部に於ける白金線の抵抗と温度との關係曲線は 200 °C 以下で油中で行つた曲線を延長して用ひた。 又白金線は 1 度實驗して再び油中で抵抗と温度との曲線を求めて見ると1回 毎に曲線がずつてゆく。之が白熱による焼戻しによるか、僅の張力を加へてあるので白熱の際にのびるのか又は電解作用によるのかは不明であるが此等の原因によつて高温度の部分では ΔT に數十度の誤差があり得る。

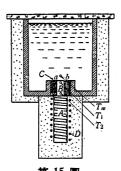
(競入の際は材料は此 Q-AT の曲線に.[第 37 卷 第 206 號

沿つて高温部から變化し Q_{\min} の點で音を立て Δ 瞬間的に Qmax 點を通過し從つて多量の蒸気を立てて 黑くなる。そし てこの關係曲線が材料の溫度の變化を定めるものである。從 つて水の動いて居る場合、水以外の液體を用ひた場合等に對 して類似の曲線を求めて見てそれ等と燒入れの工合との關係 を驗べて見たら面白い結果が出ると思ふ。

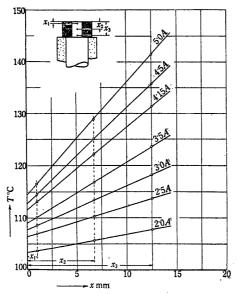
4. 第 2 の實驗。 平面に對する

水平で上方に水のある平面を用ひた。 $\Delta T \in Q$ との關係は 面の大さによつて當然異るが極めて小さい面以外では Q_{max} なる多量の熱を供給する方法がないので針金の場合同様に極 大値のある事を證明する目的で直径 10 mm 及 6:58 mm の 2種の円形平面を用ひた。第15圖は實驗裝置である。Aは 上方 B が細くなつた銅の円壔で上面 ab が傳熱面、C は Bに固くはめた筒でエボナイトで製つたり又は内方にポーセレ ン筒を用ひ其外部に炭化コルク製の筒をはめたりした。此等 は熱の絕緣の爲めである。ポーセレンと炭化コルクを用ひた 時は間隙と表面にはベークライトを塗つて水の 浸入を防い だ。Aの部には適宜に溝を切り電気的に絶緣して上に電熱線

D を 巻き其外はアスベスト等で 保溫した。A部の太さ長さを大に すれば D によつて之に充分多量 の熱を傳へ得る。此熱はAが熱 の良導體であるから容易に B を 經て面 ab へ流れてゆく。この方 法で ab に必要だけの熱量を供給 し得た。 D 中で生じた電熱の一 部は外方へ行き他が A に入る。 之が B を通る間に一部は Cを經 て逃げる筈であるが B と C との 平面に對する實驗裝置



第 15 圖



第 16 圖 加熱電流と溫度分布の關係

昭和9年6月]

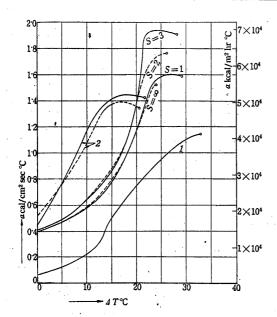
傳熱率の比が 1,000 以上であり且つ ab から水へ出る熱が極 めて多量である爲めCを通つて逃げるものはBを通過して ab にゆくものに比して小さい。 なほ之を實驗的にたしかめ る爲め B 部の直径 6.48 mm 長さ 15 mm のもので ab の 面から 1 mm, 6.75 mm 及 12.5 mm の位置に直径 0.6 mm の穴をあけ、銅コンスタンタンの熱電對を入れて實驗中の溫 度分布を測定した所第 16 圖に示す如く加熱電流の强さによ つて B の軸方向の温度勾配は違ふが何れも 3 ケ所の温度が 1直線に乗つて居つた。即ち B の側面からの熱損失は度外視 し得る。よつて ab の面から水に傳はる熱量は B の 2 ケ所 の温度 T_1 T_2 と銅の傳熱率とから算出する事にした。此は 供給電熱の 85 乃至 95% であつた。銅の傳熱率は 320 kcal/ m hr °C=0.89 cal/cm sec °C とした。

銅片 AB は約 10 cal の熱容量を有するので電流の變化 はなるべく遅くした。 しかし電流の 1 變化毎に 10 分以上 を費した實験も之を 30 秒位にした實験も其結果に大差なか つた。表面 ab の温度は T_1 T_2 を延長して求めた。

實驗には T₁ T₂ だけ讀めばよい筈であるが加熱電流 I も 讀んで置いた。Q が極大値に達し T_1 T_2 が急變する瞬間に は測定器が 1つだつたので T_1 と I だけを讀み取り此處迄 の T_1 と T_2 , I の關係を參考にしてこの時の T_1 I によつ て T_2 を想像し之を用ひて Q_{max} 及 ΔT を求めた。 結果は 第 1 圖に示す如くで面の小なる方が Q の割合に ΔT が大 であり Q_{\max} も大きい。次に面に沿つての水の流速の影響に 就ての概念を得る爲め 10 mm の大さの面を用ひ第1圖 に附記した様に傳熱面と同一の内径を有するエボナイト筒を つけた。且つその中央に厚さ 0.5 mm の N なる劃板を入 れ、之と面 ab との距離sを變化して實驗を行つた。此劃板 を入れると沸騰が劇しくなつても蒸汽泡は其一方のみから上 昇し水の循環は整然と行はれる。 實驗回數は各 5 の値に對 して4~5回であるが同一種類の實驗結果は可成り一致して居 るから第1圖にはその平均値のみを示した。距離sを1mm より次第に大にする事は ab 面上の水の速度を増す事である から大體之につれて ΔT の割合に Q が大になつてくる。又 Q_{\max} も大になる。 しかし $s=\infty$ 卽ち劃板のない時は流の 混亂の爲め流速は非常に小になり Qmax は再び小になる。 第 17 圖は 之から求めた α の値であるが、第 11 圖の様に α の極大値の現れて居るものが多い。

5. 結び並に實驗中に起つた 2, 3 の現象

Q の極大値は存在し此値は水温が一様なら 材料によつて 大差ない。 Q_{\max} の値は極めて大であり之に對應する ΔT は 割合に小で實驗の範圍では 20°C 乃至 40°C 位である。 Qmax は特に細い針金以外では何れも 30 cal/cm² sec を越 えるが此値が特別な水の循環を行はぬ限り針金でも平面でも 大體似た値である事から見ると他の形又は大きい傳熱面に對 する Q_{max} も上記の値と桁はづれに違ふ事は ないであらう。 即ち從來知られた Q の値より非常に大である事は確實と思 ふ。蒸気罐の Q は炉附近でも 3 cal/cm 2 sec に達しない。



第 17 圖 水平面の ΔT と α との關係 水温 100°C

從つて圧力による相違があるにせよ火を急に焚いた爲めに傳 熱面がスフェロイダルの狀態になつて融ける事は 鑵石がない 限り起り得ない。鑵石の附着した場合、圧力の違つた場合等 は今後の研究に待つ。

針金に就ての實験中其表面に沿つて火化が走つた事があった。 既述の様に Q の小さい間は針金の所々から気泡が出るが $^{(6)}$ 水温が 100° C たるとそれ以下たるとを間はず又針金でも平面でも $AT=12^{\circ}$ C で気泡發生が急に激しくなつて傳熱

面全部を覆ひ $Q-\Delta T$ 曲線は此附近で急に上に曲る。

4Tが20°C,30°Cと云ふ場合に之に接する水は何度であらうか。固體と液體との接觸面で温度の急變があり得ない事から見ると水は之だけ過熱されて居る事になる。 Partridge(7)は蒸気發生の時には第 18 圖の様に mn なる乾いた部分のある事を巧妙な實驗でたしかめた。即ち此部の金屬面は水温より遙に高い事になり從つて 4T が數十度と云ふはこの部分と他の 100°C の部分の平均に過ぎないとも説明出來る。



第 18 圖

併し表面張力に打勝つて水中で気泡が發生する為には當然過熱が必要である。著者は此過熱度を測定しやうとして永い間失敗を繰返したが 1932年 Jakob⁽⁵⁾は之を測定して傳熱面附近に過熱のある事を明かにし

た。併し其結果は面から 1mm 位の所で僅に 1°C 內外の過 熱に過ぎないからもつと近い所を測定して見る必要がある。

實験中水の容器が外部から又は内部に入れた別の加熱器の みで 100°C に保たれて居る筈であるのに Qが大になると水 温が 0'2°C 乃至 0'5°C も降つて實験を一時中止しなければ ならぬ事が屢々あつた。之で見ると蒸気泡はそれに接する水 の蒸發を誘引するのではないかとも思はれる。

以上種々な 點に就て 今後研究もし 讀者諸賢の 数を乞ひたい。

本研究の費用の一部は財團法人 齋藤報恩會の 補助による 事、並に實験は主として黑賴喜助、大町昌男兩君の助力によ る事を記して謝意を表する。

(昭和9年1月仙臺にて稿)

⁽⁶⁾ Jakob は 脚註 (3) で平面の場合に気泡の出る場所の數を算えてる

⁽⁷⁾ Everett P. Partridge and alfred H. White, Industrial and Engineering chemistry Vol. 21 p. 834 1929, Sept.