



始



製鐵所研究所

研究報告

Vol. VIII No. 9

鋼片の加熱速度に就きて

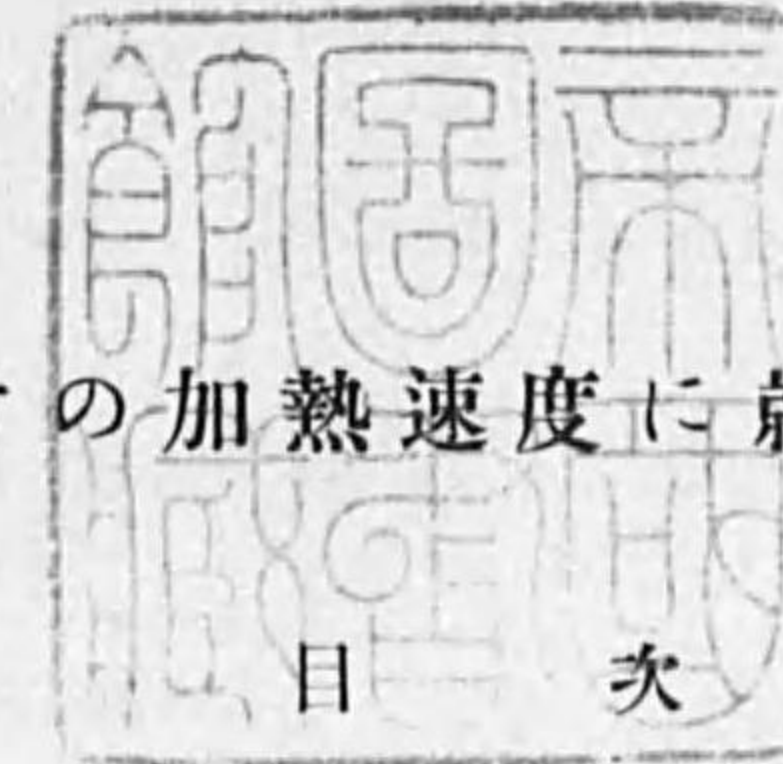
技師 海野三朗
理學博士

(代
膽
寫)

昭和四年三月發行

製鐵所

福岡縣八幡市



鋼片の加熱速度に就きて

目次

研究の要旨並に結論概要.....(2)

第1章 鋼片の厚さと加熱時間並に燃料との関係.....(4)

 第1節 熱傳導方程式.....(4)

 第2節 熱流の直進する場合.....(5)

 第3節 厚さの増減と加熱時間との関係 (加熱温度 1350°C の場合).....(7)

 第4節 厚さの増減と加熱時間との関係 (加熱温度 1450°C の場合).....(12)

 第5節 鋼片の厚さに據る吸收熱量の差異.....(14)

 第6節 厚さの増減と石炭消費量との関係.....(16)

 第7節 時間より見たる加熱鋼片屯數.....(18)

第2章 厚さの増減と加熱時間との實驗的例證.....(21)

 第1節 測定方法.....(21)

 第2節 測定の結果.....(22)

 第3節 鋼片の大きさと其の内外の冷却速度.....(25)

發行所寄贈本



鋼片の加熱速度に就きて

鋼片の加熱速度に就きて

技師 理學博士 海野三期

Object of Investigation and Summary of
Conclusions.

1. In heating billets from one side, the writer at first theoretically obtained the relation between the thickness of billets and the time needed to heat them to the required temperature, then from a practical data, he obtained some relations among the thickness of billets, i. e. heating time, fuel consumption and tonnage of billets heated in unit time, etc. He also proved experimentally the relation between the size of billets and heating time.

2. The relation between the thickness of billets and the heating time during which the parall l surface at the distance of X from the side reached respectively 900°C, 1000°C, and 1200°C was obtained when one side of the ingot is exposed to the heat sources of 1350°C and 1450°C. It was ascertained in this experiment that the increase of heating time is proportional to the square of the thickness (Figs. 2~4).

3. The rise of temperature heated and the heating time do not go in direct proportion; the latter rapidly increases with the former, and the rate of increase is in a marked proportion to the increase of thickness. Therefore, it was understood that the elongation of heating time after the required temperature is reached merely caused a very little rise of temperature above the required height (Figs. 3~5).

4. With the increase of thickness of billets the heat to be absorbed decreases inversely proportional to the square of the thickness in result, and as the required temperature rises the absorption heat steadily decreases (Fig. 6).

5. With the increase of thickness of billets the coal used per ton of steel increases linearly. If the thickness of billets is denoted by X and the coal used per ton of them Y, the relation between these two are expressed by the following equation:-

$$X = 72.5 Y \dots\dots\dots(\text{Fig. 7})$$

6. The relation between the tonnage of billets to be heated per hour and its thickness will be shown as follows,

$$XY = \text{Constant.}$$

Where X is the thickness of billets and Y their tonnage heated per hour.

That is, they are in a contrary relation to each other. In case when the surface is heated uniformly to 1226°C the relation becomes

$$XY = 125.$$

Again, when a surface is exposed to the source of 1350°C and the other side reaches 1000°C, this relation becomes

$$XY = 109.$$

The same contrary relation is found between the tonnage of the heated ingot taken out and its thickness (Figs. 8~9).

7. Six kinds of specimen of cube, one side of which is respectively from 2 c.m. to 12.4 c.m. and four kinds of billet from 1.5 × 1.5 × 12 c.m. to 3.7 × 3.7 × 30 c.m. were charged in the electric resistance furnace kept at 900°C; the relation between the time and the temperature during and to which both the surface and the centre of the specimen reached 900°C was obtained, and the results are shown graphically in Figs. 11~13.

8. When the size of the specimen is made larger in the similar figure, the increase of thickness is proportional to the square of time, that is, if the thickness is X, and the time t, then

$$X^2 = at \dots \dots \dots (\text{Fig. 14}).$$

9. After taking out the billets of similar shape and of different sizes kept at the same temperature both at the centre and on the surface, their cooling was observed in ten minutes, in which it was found that the smaller the billets the sooner they cooled away both on the surface and at the centre, but the larger ones did not cool so speedily as the smaller ones and the difference of temperature at the centre and on the surface becomes larger as the specimen swells in size. In other words, in the larger billet the interior retains still comparatively high temperature even when the surface speedily cools away (Fig. 15).

研究の要旨並に結論概要

1. 鋼片を一方より加熱するに當り、其鋼片の厚さと所要温度に到達するに要する加熱時間を理論的に求め、實際作業の場合よりして其間に要する燃料としての石炭消費量、同一時間内に於ける加熱鋼片の屯數其他の關係を知り、尙ほ鋼片の大きさと加熱時間との關係を實驗的に證明せるものなり。

2. 鋼片の一面が 1350°C 及び 1450°C の熱源に晒されたる時に、夫れより x の距離にある平行面が 900°, 1000°, 1100°, 1200°C に到達する場合に於ける鋼片の厚さと所要加熱時間との關係を求めたるに、鋼片の厚さの増加に對して所要加熱時間は二乗の割合を以て増加す (第 2 及び 4 圖)。

3. 所要加熱温度の上昇と加熱時間とは正比例せず。所要温度上昇するに従ひて所要加熱時間の増加は急なり。而して其割合は鋼片の厚さの増加する

に従つて甚だし。故に所要温度に到達せる後に於ける燃焼時間の延長は、單に鋼片の所要温度以上に極めて僅少の温度上昇を來すのみなる事を知れり、(第 3 及び 5 圖)。

4. 鋼片の厚さ増加すれば、夫れ等の吸収熱量は二乗の割合を以て減少する結果に等し。而して所要温度高温なるに従つて反對に吸収熱量は益々減少する事を知れり (第 6 圖)。

5. 鋼片の厚さ増加すれば、加熱鋼片屯當り石炭消費量は直線的に増加す。而して鋼片の厚さを x、鋼片屯當り石炭消費量を y とすれば、此兩者の關係は次式を以て表はさる (第 7 圖)。

$$x = 72.5 y$$

6. 所要温度に加熱せらるゝ鋼片の毎時の屯數と其厚さとの關係は、鋼片の厚さを x、毎時の屯數を y とすれば、

$$xy = \text{定 數}$$

にして兩者互に反對の關係にあり。而して表面平均 1226°C に加熱せらるゝ場合は、

$$xy = 125$$

又一面 1350°C に晒され他面 1000°C に到達する場合は、

$$xy = 107$$

にして、毎時加熱鋼片の抽出屯數と其厚さとに於ても同様反對なる關係にあり (第 8 ~ 9 圖)。

7. 正立方体の試料、一邊の長さ 2 種より 12.4 種迄のもの 6 種、及び正長方形体、1.5 × 1.5 × 12 種より 3.7 × 3.7 × 30 種迄の試料 4 種を、900°C に保たれたる電氣爐内に装入し、表面及び中心が 900°C に到達する時間と温度との關係を求めたり (第 11 ~ 13 圖)。

8. 鋼片の大きさ相似形的に増加せる場合に於て、鋼片の厚さ増加すれば所要温度に到達する時間は、厚さ x、時間を t とすれば、

$$x^2 = at$$

なる二乗の関係にある事を実験的に証明する事を得たり (第14圖)。

9. 内外同一温度に保たれたる相似形状の鋼片を、爐外に抽出したる始めの10分間に於ける冷却状況を見るに、小なるものは内外共に温度降下急なるも、大なるものは共に少なく且つ内外の温度の差は、大きさの増加に従つて益々大なり。即ち鋼片の大きさ増加すれば、表面の温度降下すと雖も内部は尙ほ相當高温にある事を知れり (第15圖)。

第1章 鋼片の厚さと加熱時間並に燃料との関係

第1節 熱傳導方程式

熱が物体に傳播するに當り、時間を t 、温度を v 任意の點を x, y, z を以て表はせる際に、是等 t, v, x, y, z は凡て連續的函數なる場合は、物体の温度、位置及び時間の關係は次式⁽¹⁾を以て表はさる可きなり。

$$\frac{\partial v}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \dots \dots \dots (I)$$

茲に $K = k \rho c =$ 熱傳導率 にして

$k =$ 温度傳導率

$\rho =$ 比 重

$c =$ 比 熱

此方程式が満足す可き、 v, t, x, y, z を求むれば、任意の時間に任意の場所に於ける温度を求むる事を得。然るに實際問題にありては、各々其周圍の條件を異にして千差萬別なるが故に、其場合に應じたる周圍の條件を挿入して其解を求む可きなり。斯くして求められたる解は、只一つありて而して只一に限るものなり。著者は實際的應用として適當なる周圍の條件を用ひ、以

(1) Ingersoll and Nobel, Mathematical Theory of Heat Conduction, (1913), 67; Carslaw, Fourier Series of Integrals, (1906); Poincare, Theorie analytique de la Propagation de la chaleur, (1891).

て鋼片加熱の場合に應用し、鋼片の厚さの増減と其加熱時間及び温度との關係を求めたるものなり。

第2節 熱流の直進する場合

鋼片の一方より加熱せらるゝ際を考ふるに、實際作業にありては同様の鋼片が連續加熱せらるゝ場合なるが故に、無限に擴がれる平面を境として熱流の直進する場合と考ふる事を得。従て (I) に於ては、

$$\frac{\partial^2 v}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} = 0$$

なるを以て、

$$\frac{\partial v}{\partial t} = k \Delta^2 v = k \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \dots \dots \dots (II)$$

となる。即ち此式を満足す可き v の値を求め、此 v と t, x との關係を求むれば、任意の時間に於ける温度と位置、又逆に任意の位置が一定温度に到達す可き時間を求むる事を得。

上の方程式を解かんが爲に

$$v = e^{at + \beta x} \quad \text{とし} \quad a = K\beta^2 \quad \text{及び} \quad \beta = \pm i\gamma \quad \text{とおけば}$$
$$v = e^{-K\gamma^2 t} e^{\pm i\gamma x}$$

即ち

$$v = L e^{-K\gamma^2 t} \cos \gamma x$$

及び

$$v = N e^{-K\gamma^2 t} \sin \gamma x$$

を得。従つて此和は又上式を満足す可きが故に、

$$v = \int_0^\infty e^{-K\gamma^2 t} (A \cos \gamma x + B \sin \gamma x) d\gamma \dots \dots \dots (III)$$

茲に於て $t=0$ とおけば、

$$f(x) = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty d\gamma \int_{-\infty}^{+\infty} f(\lambda) \cos \gamma (\lambda - x) d\lambda$$
$$= \int_0^\infty (A \cos \gamma x + B \sin \gamma x) b\gamma$$

従つて之より A, B 定數を決定する事を得て、

$$A = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^\infty f(\lambda) \cos \gamma \lambda d\lambda$$

$$B = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(\lambda) \sin \gamma \lambda d\lambda$$

従つて

$$v = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} e^{-K\gamma^2 t} d\gamma \int_{-\infty}^{\infty} f(\lambda) \cos \gamma (\lambda-x) d\lambda \dots \dots \dots (IV)$$

(IV) は上式 (II) 及び (III) を満足す可きものなれども、此式を實際使用に便ならしむる爲めに少しく變化すれば、

$$v = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(\lambda) d\lambda \int_0^{\infty} e^{-K\gamma^2 t} \cos \gamma (\lambda-x) d\gamma$$

とおく事を得。然るに

$$\int_0^{\infty} e^{-K\gamma^2 t} \cos \gamma (\lambda-x) d\gamma = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi}{Kt}} e^{-\frac{(\lambda-x)^2}{4Kt}}$$

となるが故に、(IV) は

$$v = \frac{1}{2\sqrt{\pi Kt}} \int_{-\infty}^{\infty} f(\lambda) e^{-\frac{(\lambda-x)^2}{4Kt}} d\lambda \dots \dots \dots (V)$$

となる。然るに無限に擴がれる平面は常に 0°C に保たれ、初めの温度の分布は任意なりと考ふるが故に周圍の條件としては、

$$x=0, \quad v=0, \quad t=0, \quad v=f(x)$$

又 λ は x よりの距離にして其絶対値を表はすものとすれば、

$$x=\lambda, \quad \text{に於ては} \quad f(\lambda)$$

$$x=-\lambda, \quad \text{に於ては} \quad -f(\lambda)$$

と考へたる結果に等しきが故に、(V) は

$$\begin{aligned} v &= \frac{1}{2\sqrt{\pi Kt}} \left\{ \int_0^{\infty} f(\lambda) e^{-\frac{(\lambda-x)^2}{4Kt}} d\lambda + \int_{-\infty}^0 f(\lambda) e^{-\frac{-(\lambda-x)^2}{4Kt}} d\lambda \right\} \\ &= \frac{1}{2\sqrt{\pi Kt}} \left\{ \int_0^{\infty} f(\lambda) e^{-\frac{(\lambda-x)^2}{4Kt}} d\lambda - \int_0^{\infty} f(\lambda) e^{-\frac{-(\lambda-x)^2}{4Kt}} d\lambda \right\} \\ &= \frac{1}{2\sqrt{\pi Kt}} \int_0^{\infty} f(\lambda) d\lambda \left\{ e^{-\frac{(\lambda-x)^2}{4Kt}} - e^{-\frac{-(\lambda+x)^2}{4Kt}} \right\} \dots \dots \dots (VI) \end{aligned}$$

$$\text{今 } \beta = \frac{\lambda-x}{2\sqrt{Kt}}, \quad \beta' = \frac{\lambda+x}{2\sqrt{Kt}} \text{ とおけば } d\beta = \frac{1}{2\sqrt{Kt}} d\lambda, \quad d\beta' = \frac{1}{2\sqrt{Kt}} d\lambda,$$

従つて、

$$v = \frac{v_0}{\sqrt{\pi}} \left\{ \int_{-\frac{x}{2\sqrt{Kt}}}^{\infty} e^{-\beta^2} d\beta - \int_{\frac{x}{2\sqrt{Kt}}}^{\infty} e^{-\beta'^2} d\beta' \right\}$$

$$= \frac{2v_0}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{Kt}}} e^{-\beta^2} d\beta \dots \dots \dots (VII)$$

此方程式は、始めに物体の温度が v_0 にして表面が 0°C なる場合なり。従つて温度の基準を換ゆる事によりて此 (VII) を直ちに用ゆる事を得可し。

第 3 節 厚さの増減と加熱時間との關係 (加熱温度 1350°C の場合)⁽¹⁾

厚さ 4, 6, 8, 10, 15, 20, 30 種なる鋼片の一面が常に 1350°C の高温に保たれたる際に、之より x の距離にある平行なる一面が 900°C に到達す可き時間を求めんとす。鋼片の初めの温度は常温 20°C とすれば、

$$v = \frac{2v_0}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{Kt}}} e^{-\beta^2} d\beta$$

の關係を利用する事を得。即ち物体の温度が v_0 にして表面が 0°C なる際に、其物体の表面より x 種なる距離に於ける温度 v と、其温度に到達するに要する時間 t との關係を與ふるものなり。今基準を 1350°C だけ移轉して之を 0°C と考ふるに、

$$v = 900^\circ - 1350^\circ = -450^\circ$$

$$v_0 = 20^\circ - 1350^\circ = -1330^\circ$$

従つて

(1) 茲に火焔の温度として 1350°, 1450°C を引證せるは、多くの再熱爐にありては燃焼の最も盛なる部分は 1400°C 附近なればなり。第一大形の石炭使用の再熱爐の最高部並に第三小形工場再熱爐の瓦斯使用の場合、其他多くの再熱爐にありては皆程度の温度なる事實則より知られたればなり、元來爐内温度の上昇程度は瓦斯の種類と其量、送入空氣量及び夫等の送入前の温度によりて決定せらるゝものにして、瓦斯量對空氣量の一例は既に著者が報告せる所なるが其理論的計算は又田所、河内兩氏の研究あるが故に省略する事とせり。

(a) 海野 製鐵所研究所受付研究 26 (1928), 63 (1922), 84 (1927), 49 (1928), 71 (1928),

(b) 製鐵所研究所研究報告 8 (1928),

(c) 同上受付研究 90 (1927), 製鐵研究 90 (1926), 1.

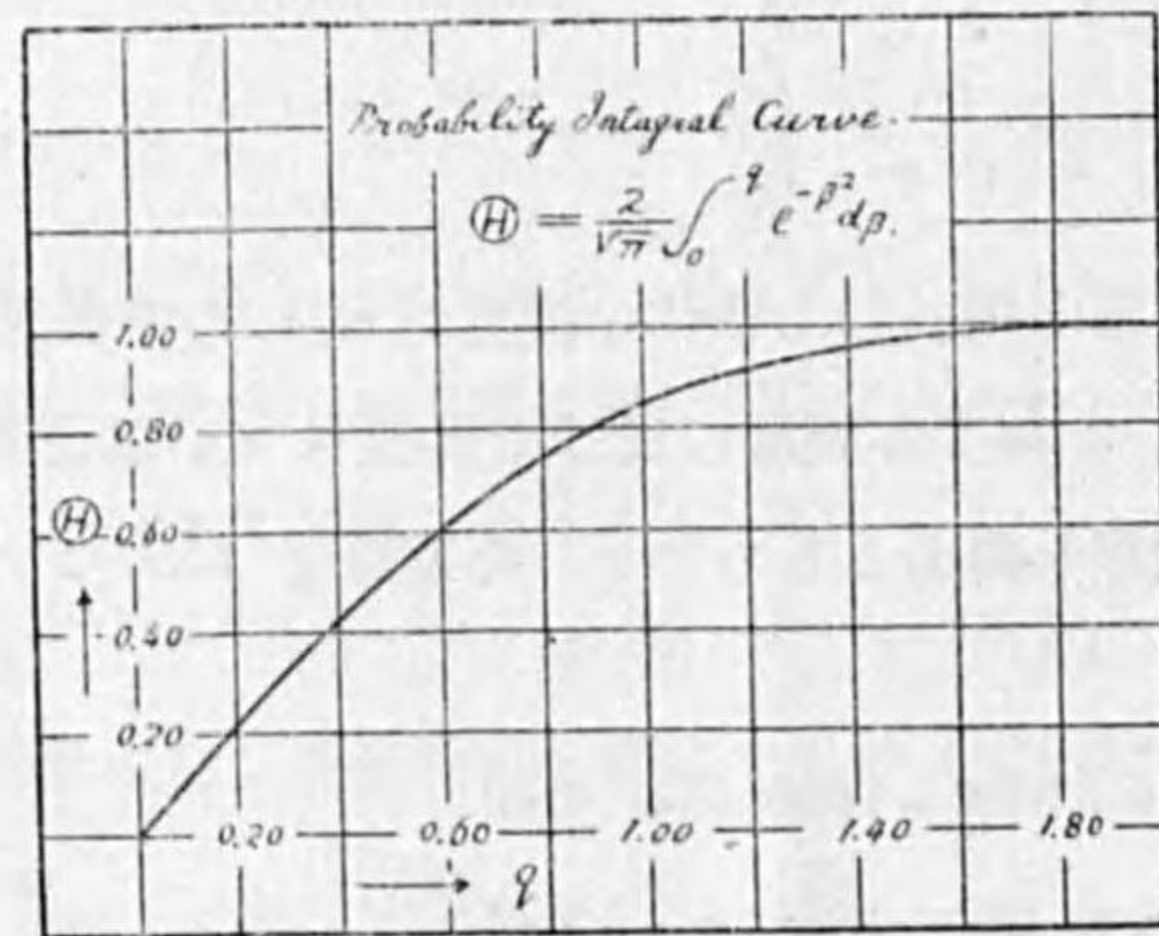
$$\frac{45}{133} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{Kt}}} e^{-\beta^2} d\beta$$

即ち

$$0.3383 = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{Kt}}} e^{-\beta^2} d\beta$$

ならしむ可き $\frac{x}{2\sqrt{Kt}}$ の値を第1圖 Probability Integral Curve⁽¹⁾ より求むるに、

第 1 圖



$$\frac{x}{2\sqrt{Kt}} = 0.3095$$

従つて

$$t = \frac{x^2}{4 \times 0.14 \times (0.3095)^2} = \frac{x^2}{0.0520}$$

由て、x の代りに 4, 6, 8, 10, 15, 20, 30 を代入して t との關係を算出すれば次の如し。

x = 4;	t = 308 = 5分8秒
x = 6;	t = 692 = 11分32秒
x = 8;	t = 1230 = 20分30秒

(1) Wellisch, Theorie und Praxis der Ausgleichsrechnung, 257.

$$x=10; \quad t=1320 = 32分4秒$$

$$x=15; \quad t=4325 = 72分5秒$$

$$x=20; \quad t=7690 = 128分10秒$$

$$x=30; \quad t=17320 = 288分40秒$$

次に鋼片の一面が常に 1350°C に保たれ、他の反対の一面が 1000°C に到達する場合の關係を求めんとす。此場合に於ては

$$v = 1000^\circ - 1350^\circ = -350^\circ$$

$$v_0 = 20^\circ - 1350^\circ = -1330^\circ$$

$$\therefore \frac{35}{133} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{Kt}}} e^{-\beta^2} d\beta = 0.2631$$

従つて第1圖より

$$\frac{x}{2\sqrt{Kt}} = 0.2376$$

$$\therefore t = \frac{x^2}{4 \times 0.14 \times (0.2376)^2} = \frac{x^2}{0.0315}$$

$$x=4; \quad t=508 = 8分28秒$$

$$x=6; \quad t=1143 = 19分3秒$$

$$x=8; \quad t=2032 = 33分52秒$$

$$x=10; \quad t=3175 = 52分55秒$$

$$x=15; \quad t=7140 = 119分$$

$$x=20; \quad t=12710 = 211分50秒$$

$$x=30; \quad t=28590 = 476分30秒$$

次に一面が絶えず晒さるゝ温度は全様 1350°C にして、夫れより x なる距離に於ける平行面が 1100°C に到達する時間を求むるに、周囲の條件として

$$v = 1100^\circ - 1350^\circ = -250^\circ$$

$$v_0 = 20^\circ - 1350^\circ = -1330^\circ$$

従つて

$$\frac{25}{133} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{Kt}}} e^{-\beta^2} d\beta = 0.188$$

故に第1圖よりして

$$\frac{x}{2\sqrt{Kt}} = 0.1682$$

即ち

$$t = \frac{x^2}{0.0158}$$

を得。従つて x が 4, 6, 8, 10, 15, 20, 30 種なる値に相當する t を求むるに、夫々

x=4;	t=1014	=	18分34秒
x=6;	t=2280	=	38分
x=8;	t=4050	=	67分30秒
x=10;	t=6330	=	105分30秒
x=15;	t=14240	=	237分20秒
x=20;	t=25320	=	422分
x=30;	t=57000	=	950分

を得。

同様にして他の一面が 1200°C に到達すべき時間を各鋼片の厚さに付きて求むるに、此場合にありては、

$$v = 1200^\circ - 1350^\circ = -150^\circ$$

$$v_0 = 20^\circ - 1350^\circ = -1330^\circ$$

となるを以て、

$$\frac{15}{133} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{Kt}}} e^{-\beta^2} d\beta = 0.113$$

従つて第1圖よりして

$$\frac{x}{2\sqrt{Kt}} = 0.101$$

即ち

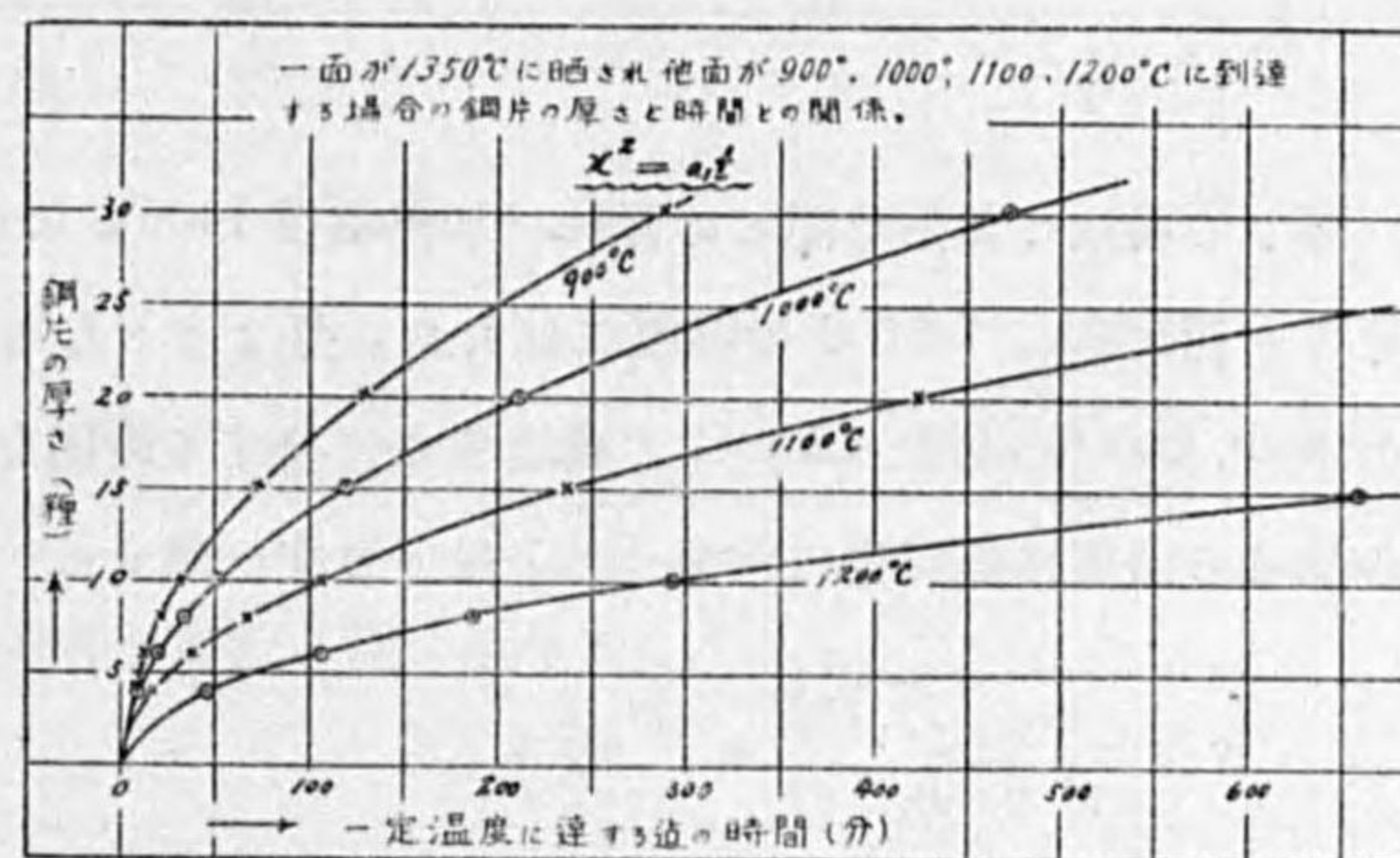
$$t = \frac{x^2}{0.14 \times (0.202)^2} = \frac{x^2}{0.0057}$$

由て x と t との関係は次の如くなる。

x=4;	t=2807	=	46分47秒
x=6;	t=6316	=	105分16秒
x=8;	t=11228	=	187分8秒
x=10;	t=17544	=	292分24秒
x=15;	t=39474	=	658分

是等の関係を第2圖に示せり。

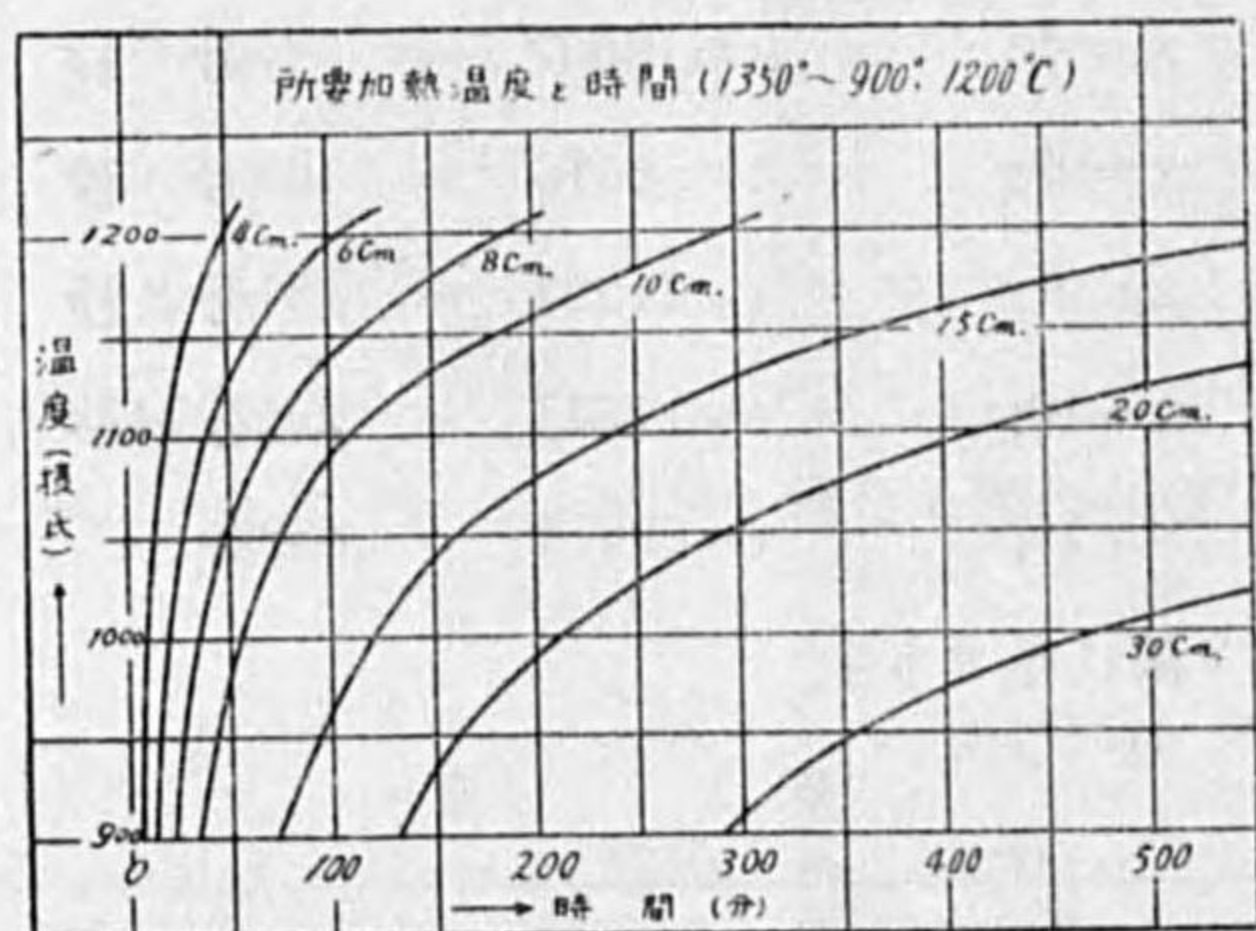
第 2 圖



是に依れば、鋼片の厚さの増加直線的なるに對し所要加熱時間は二乗の割合を以て進行し、熱源に反對なる面の所要温度上昇するに従ひて著しく長時間を要す。換言すれば一定温度例へば 1000°C に到達してより尙ほ 100° 上昇せしむるが爲めに要する時間は、10種鋼片につきて考ふれば 52.5分を要するに、1100°C より以上に 100° 上昇せしむるが爲めには更に 187 分間爐内に保たざる可からざる事となる。此関係を一層明瞭ならしめんが爲めに、一面が 1350°C の熱源に晒され他の反對側の面が達する所要温度と、此所要温度に到達するに要する時間との関係を第3圖に示せり。是によれば、加熱時間

を延長するも所要温度は夫れに正比例して上昇す可きものに非ず、所要温度の上昇割合は、加熱時間の増加するに従ひて益々減少する事を知る可し。

第 3 圖



第 4 節 厚さの増減と加熱時間との関係 (加熱温度 1450°C の場合)

次に各鋼片の一面が常に 1450°C の高温に保たれ、是より x なる距離に於ける平行面が 900°, 1000°, 1100°, 1200°C に到達するに要する時間を求めんとす。冷鋼片の初めの温度は前同様に常温 20°C なりとす。然らば

$$v = \frac{2r_0}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{2r_0}} \frac{1}{2\sqrt{Kt}} e^{-\beta^2} d\beta$$

なる関係に於て

- 900°C の場合は $\begin{cases} v = 900^\circ - 1450^\circ = - 550^\circ \\ v_0 = 20^\circ - 1450^\circ = - 1430^\circ \end{cases}$
- 1000°C の場合は $\begin{cases} v = 1000^\circ - 1450^\circ = - 450^\circ \\ v_0 = 20^\circ - 1450^\circ = - 1430^\circ \end{cases}$
- 1100°C の場合は $\begin{cases} v = 1100^\circ - 1450^\circ = - 350^\circ \\ v_0 = 20^\circ - 1450^\circ = - 1430^\circ \end{cases}$
- 1200°C の場合は $\begin{cases} v = 1200^\circ - 1450^\circ = - 250^\circ \\ v_0 = 20^\circ - 1450^\circ = - 1420^\circ \end{cases}$

従つて第 1 圖よりして夫々

$$\begin{aligned} 900^\circ & \dots\dots\dots \frac{x}{2\sqrt{Kt}} = 0.3553 & \therefore t = \frac{x^2}{0.0711} \\ 1000^\circ & \dots\dots\dots \frac{x}{2\sqrt{Kt}} = 0.2866 & \therefore t = \frac{x^2}{0.0459} \\ 1100^\circ & \dots\dots\dots \frac{x}{2\sqrt{Kt}} = 0.2200 & \therefore t = \frac{x^2}{0.0270} \\ 1200^\circ & \dots\dots\dots \frac{x}{2\sqrt{Kt}} = 0.1560 & \therefore t = \frac{x^2}{0.0136} \end{aligned}$$

を得。此 x の値に鋼片の厚さ 4, 6, 8, 10, 15, 20, 30 種を代入して時間 t を求むるに、第 1 表の如し。

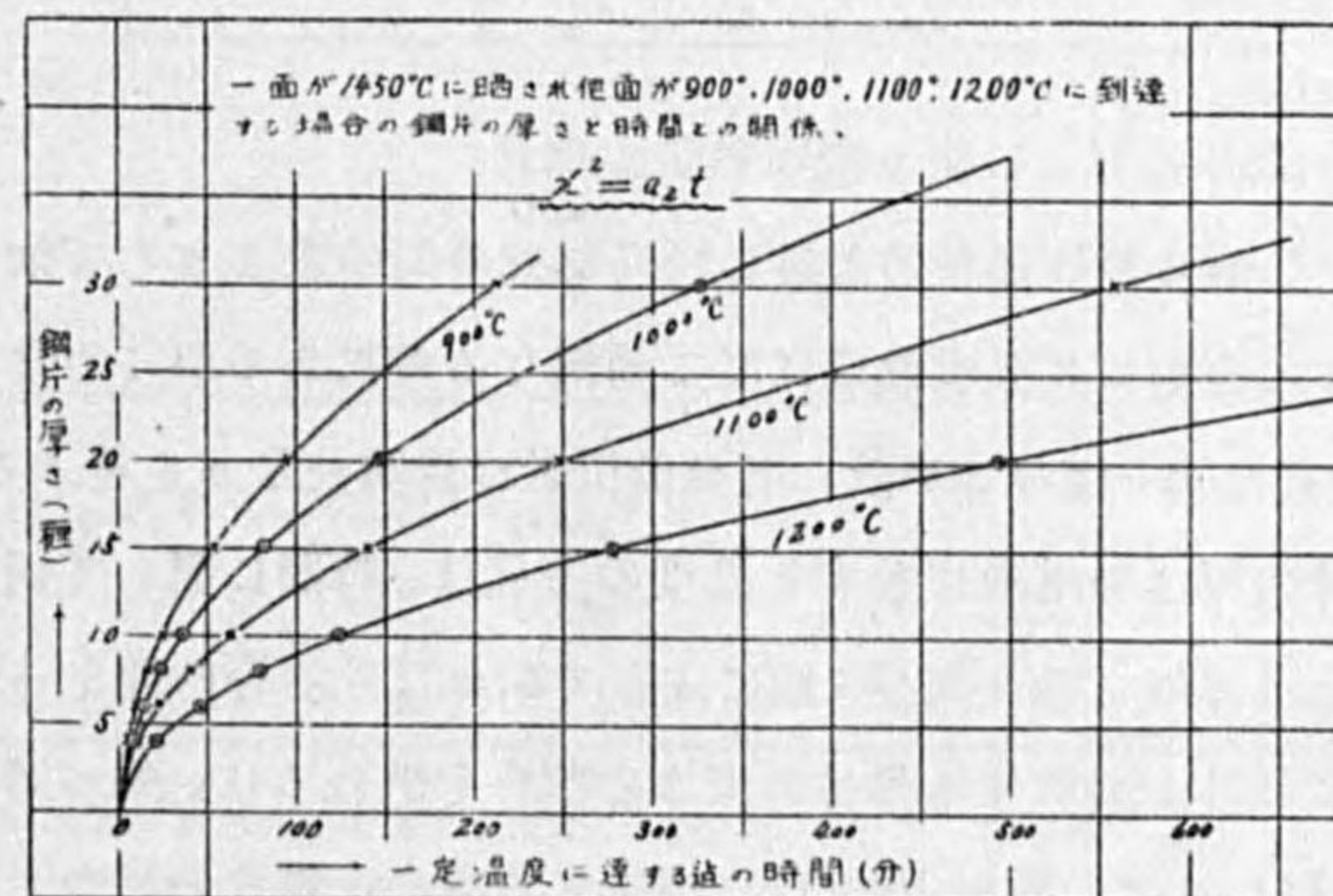
第 1 表

鋼片の厚さと所要温度に到達する時間との関係

鋼片の厚さ(種)	900°C (t)	1000°C (t)	1100°C (t)	1200°C (t)
	分 秒	分 秒	分 秒	分 秒
4	3 45	5 48	9 53	19 45
6	8 27	13 3	22 13	44 8
8	15 0	23 14	39 30	78 20
10	23 27	36 17	61 42	122 40
15	52 40	81 40	139 0	275 40
20	93 44	145 10	247 0	490 40
30	210 50	326 30	555 40	1104 0

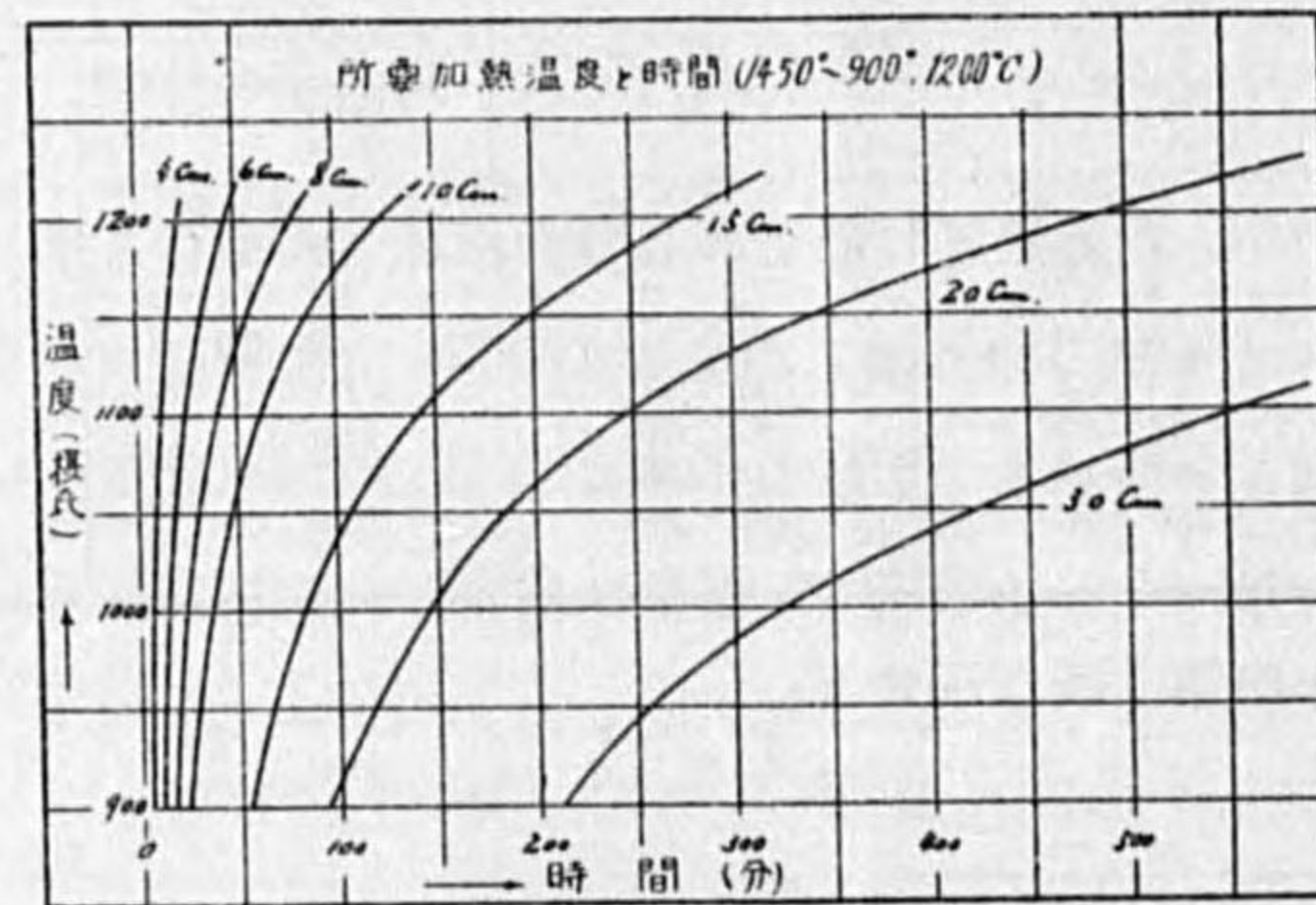
是等の関係を第 4 圖に示せり。

第 4 圖



此場合に於ても 10 種の鋼片につきて考ふるに、1000°C に到達してより尙ほ 100° 上昇せしむるには更に 25 分間を要するに、是より尙 100° 上昇せしめて 1200°C に到らんが爲めには 61 分を要する事となる。即ち長時間の加熱は所要温度以上に只僅少の温度上昇を來すのみなるを意味するなり。此關係を明瞭ならしめんが爲めに、一面が常に 1450°C の高温に晒され是より x なる距離の平行なる一面が到達する所要温度と、夫れに要する加熱時間との關係を第 5 圖に示せり。此場合に於ても前節の場合と全く同様に述ぶる事を得。只時間に對する所要温度上昇の割合は、熱源の温度高きが故に 1350°C の場合よりも大なり。

第 5 圖



第 5 節 鋼片の厚さに據る吸収熱量の差異

鋼片の厚さに據る吸収熱量の差異は既に加熱時間の差よりして知る可きも、加熱時間の長短は其吸収熱量に於て如何なる差異ある事に相當するかを考ふるに、材質形状一様なるが故に其熱的恒数は皆同一なりと考ふる事を得。去り乍ら鋼片の厚さの増加に對する温度の上昇は、時間に對して同一割合を以て進行せざるは既に第 2 及び 4 圖に依りて明かなり。今時間を一定に採り平均として各鋼片が吸収する熱量の大きさの割合を求むるに、先づ鋼片の一面が 1450°C に保たれ他の面が 1000°C に到達する際の、鋼片の厚さと時間との

關係第 4 圖よりして、各鋼片が平均として含有せる熱量即ち吸収熱量の大きさと各鋼片の厚さとの關係を次の如くにして求めんに、

鋼片の厚さ = 30 種

鋼片の平均温度 = (1450° + 1000°) ÷ 2 = 1225°C

鋼片の初めの温度 = 20°C

鋼片の加熱時間 = 326.5 分

なるを以て、厚さ 30 種の鋼片が全体 1225°C に上昇せしめらるるが爲めに約 326 分余を要する事となる。従つて

$215 \text{ Cal.} \div (326.5 \times 60) = 0.011 \text{ Cal.}$

即ち、鋼片の厚さ 30 種にして如上の状況の下に於ては、單位容積につき 1 秒間に約 0.011 カロリーを吸収する事となる。據て斯くめ如く計算すれば次の結果を得。

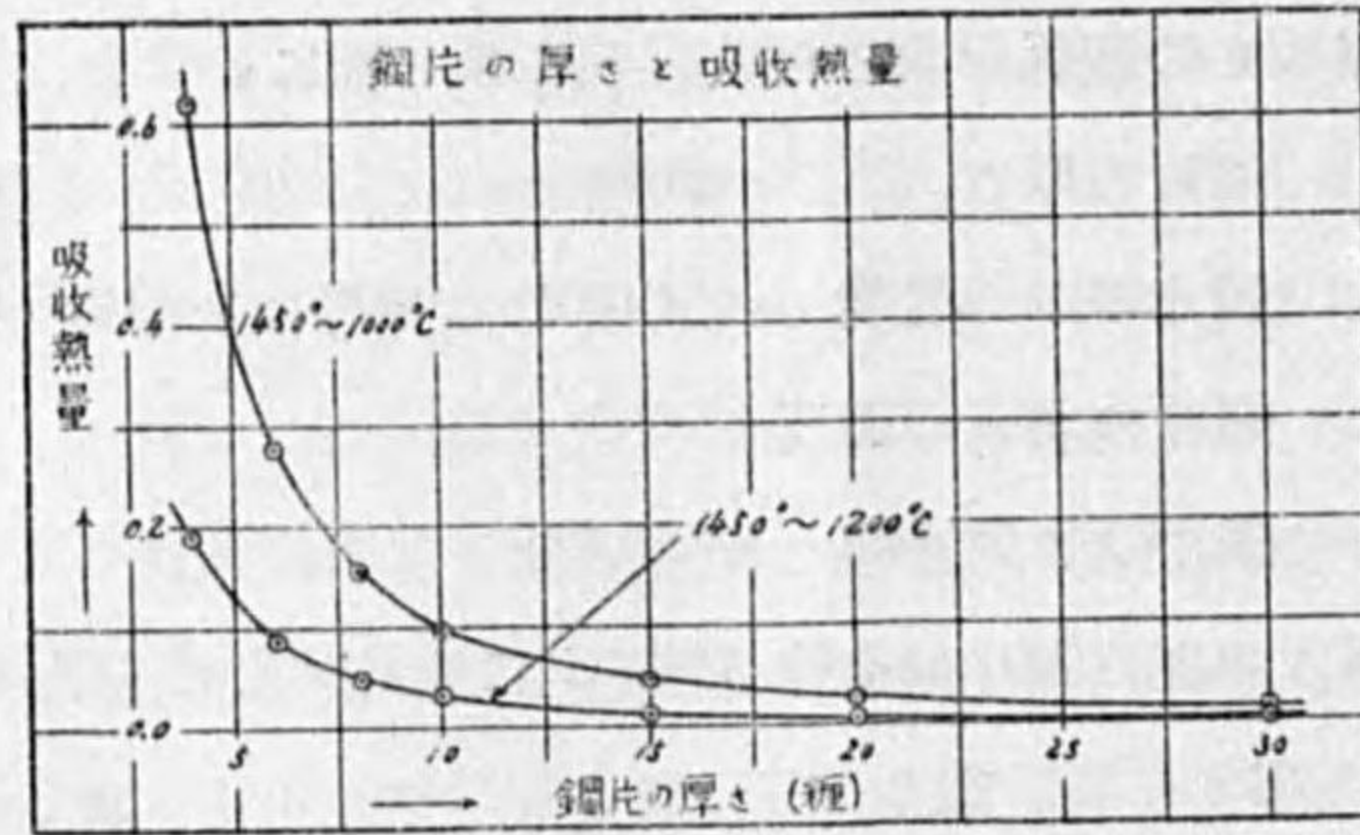
吸 收 熱 量 比 較

鋼片の厚さ (種)	1450°~1000°C	1450°~1200°C
4	0.618	0.190
6	0.274	0.085
8	0.151	0.048
10	0.099	0.031
15	0.044	0.014
20	0.025	0.008
30	0.011	0.003

此關係を示せるものは第 6 圖なりとす。

(1) 海野 製鐵所研究所研究報告 5 (1925), No. 2; 金屬の研究 3 (1926), 225; 理科報告 15 (1926), 331.

第 6 圖



此曲線よりしても加熱するに當りては、鋼片の厚さ増加すれば單位時間に其吸収熱量が如何に減少する事に相當するかを知るに足る可く、又温度を更に上昇せしむるには、其吸収熱量が甚だしく減少する結果に等し。従つて所要温度以上に上昇せしむる事は、其熱經濟上甚だしく不利なる事を知る可し。

第 6 節 厚さの増減と石炭消費量との關係

前節に於て、鋼片の厚さの増加に對する所要温度の加熱時間の關係を述べたるが、此時間の差異は消費石炭量の何程に相當するか、換言すれば鋼片の厚さの増減によりて石炭消費量が如何なる變化をなすかを見んとす。今加熱爐の一例として線材工場加熱爐の場合を採り其狀況を採用せんに、

毎時石炭消費量..... $\frac{34.850}{24} = 1.452$ 噸

毎時の加熱鋼材..... $\frac{274.05}{24} = 11.42$ 噸

各鋼材が爐内に保たるゝ平均時間..... = 56分30秒

抽出加熱鋼材の平均表面温度..... = 1226°C

加熱鋼片の大きさ..... = 9.6 × 9.6 × 102(種)

爐の長さ..... = 13.728米

なり。而して第 3 節に於て一面が 1350°C に保たれ他面が 1000°C に到達す

(1) 海野 鐵と鋼 14 (1928), 756.

る場合を考ふるに、鋼片の厚さ 9.6 種なるを以て約 48 分を要す。(此場合爐全体として既に高温にあるが故に、此 48 分よりは可なり短時間にして所要温度に到達す。何となれば兩面より加熱するとせば約 22 分にして充分なるが故に 48 分よりは短時間なる可きは想像するに難からず) 然るに實際作業に於ては爐内温度の分布均一ならざる爲めならんか (實際は 1350°C よりも高温の部分もあれ共、全体平均として 1240°C を採りて計算せるが故に實際は尙ほ短時間にて足る可きなり) 爐内保持の時間は 56 分 30 秒なり。然らば其厚さ増加すれば實際作業上何分づゝ保持せざる可からざるかを考ふるに、

$$x = \frac{56.5A}{48} = 1.18A$$

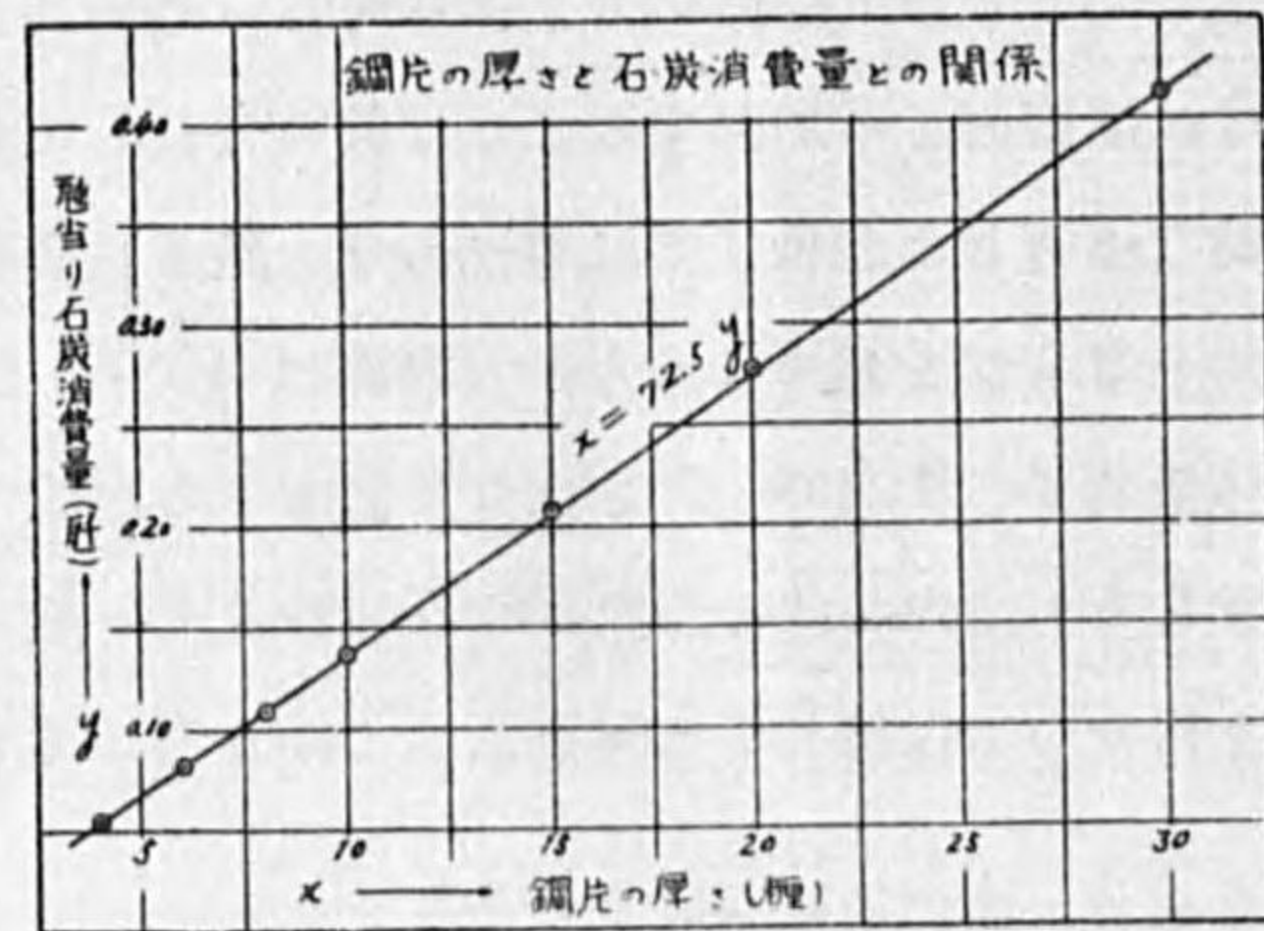
今第 2 圖よりして時間 A を代入し、之に相當する鋼片の厚さと所要時間又従つて所要石炭量、爐内に配列し得可き本數、其全屯數並に屯當り石炭消費量の關係を算出すれば第 2 表の如し。

第 2 表

鋼片の厚さ (種)	加熱所要時間 (分)	消費石炭量 (噸)	配列鋼片數	配列鋼片の總數	屯當り石炭消費量 (噸)
4	10	0.242	343	4.39	0.055
6	22.4	0.542	229	6.60	0.082
8	40.	0.968	173	8.87	0.109
10	62.5	1.513	137	10.96	0.138
15	140.5	3.400	91.5	16.44	0.207
20	249.8	6.040	68.6	21.92	0.276
30	561	13.580	45.7	32.88	0.413

表中消費石炭量は加熱所要時間より求め、又鋼材屯當り石炭消費量は配列鋼片の總數と石炭消費量とより求めたるものなり。鋼片の厚さと石炭消費量との關係を第 7 圖に示せり。

第 7 圖



鋼片の厚さ増加すれば加熱時間に於て著しく増加するのみならず、又噸當り石炭消費量に於ても直線的に増加す可きを知るに足らん。

噸當り石炭消費量を y 、鋼片の厚さを x とすれば噸當り石炭消費量と鋼片の厚さとの関係は次式を以て表はさる。

$$x = 72.5y$$

第7節 時間より見たる加熱鋼片の噸數

前節に於て鋼片の厚さの増加と所要温度に加熱するに要する時間、並に燃料に及ぼす鋼片の厚さの関係を述べたるが、更に時間より見たる場合、換言すれば、各鋼片が所要温度に加熱せられ同一時間内に爐外に抽出せられ得る噸數を算出するに、周圍の状況は、

爐の全長..... = 13.728 米

毎時石炭消費量..... = 1.452 噸

なるが故に、鋼材の一面が常に 1350°C に保たれ、他の一面が 1000°C に到達する場合に於ける鋼片の厚さ、所要時間、鋼材の單重及び毎時加熱鋼片の抽出せられ得る噸數との関係は第3表の如し。

第 3 表

鋼片の厚さ (噸)	時 間(分) 1350°~1000°C	單 重(噸)	毎時抽出せられ 得る量(噸)	毎時の全本數
4	9	0.013	29.70	2286
6	19	0.029	20.98	723
8	34	0.052	15.89	305
10	53	0.081	12.55	155
15	119	0.183	8.45	46
20	212	0.325	6.32	19.4
30	477	0.730	4.25	5.8

以上は理論上よりの計算なるが、次に實際作業に於て鋼片の厚さ 9.6 噸の鋼材が表面平均 1226°C 内外に加熱せらるゝ場合、爐中保持の時間は各々 56.5 分⁽¹⁾なるを以て此割合にて作業を遂行するものとせば、鋼片の厚さと毎時の加熱鋼片噸數とは第4表の如くなる。

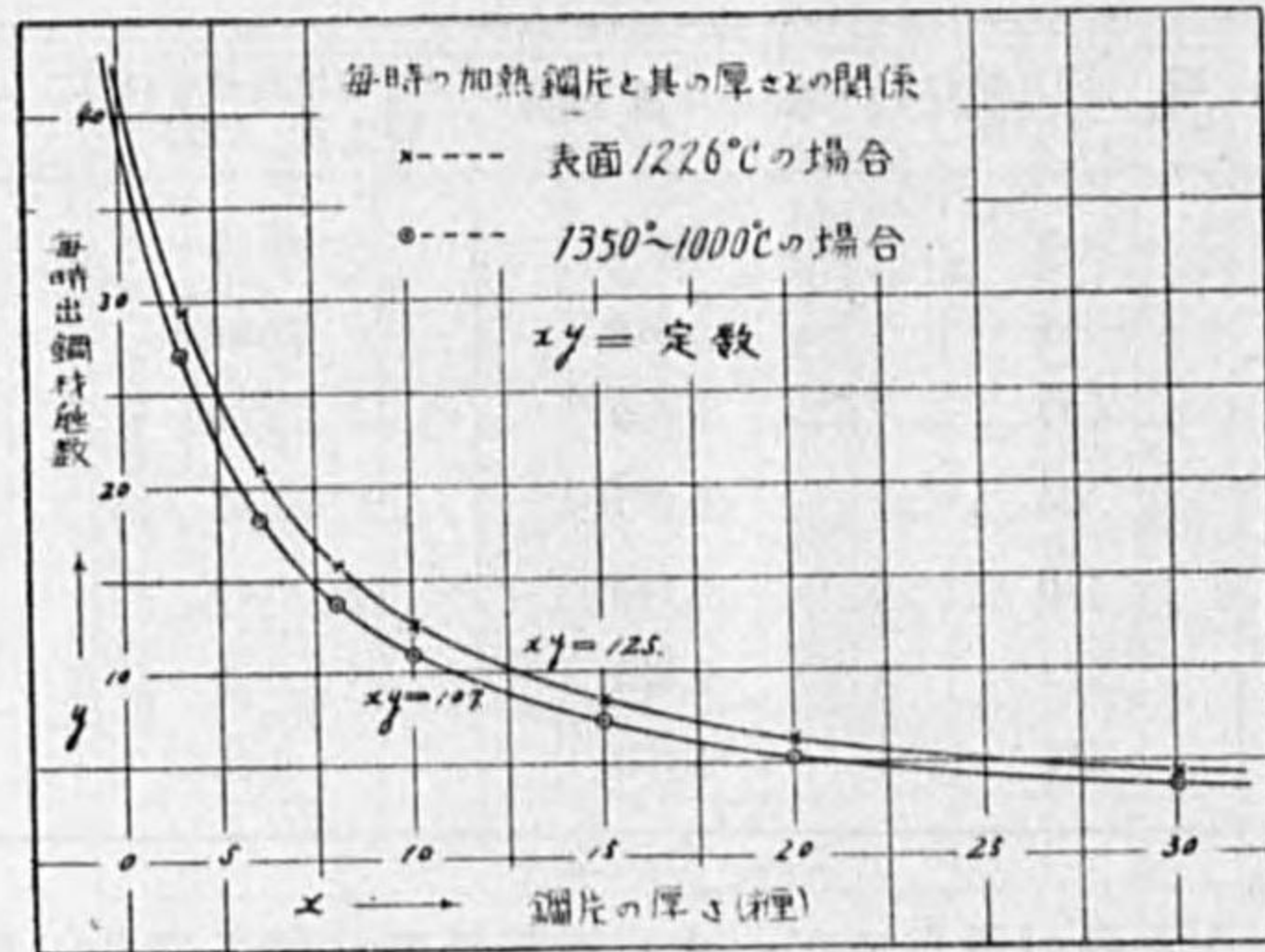
第 4 表

鋼片の厚さ (噸)	時 間(分) 表面 1200°C	單 重(噸)	毎時出鋼量(噸)	毎時出鋼本數
4	10.0	0.013	26.7	2100
6	22.4	0.029	17.8	614
8	40.0	0.052	13.5	259
10	62.5	0.081	10.64	132
15	140.5	0.183	7.15	39
20	249.8	0.325	5.37	16.5
30	561.0	0.730	3.58	4.9

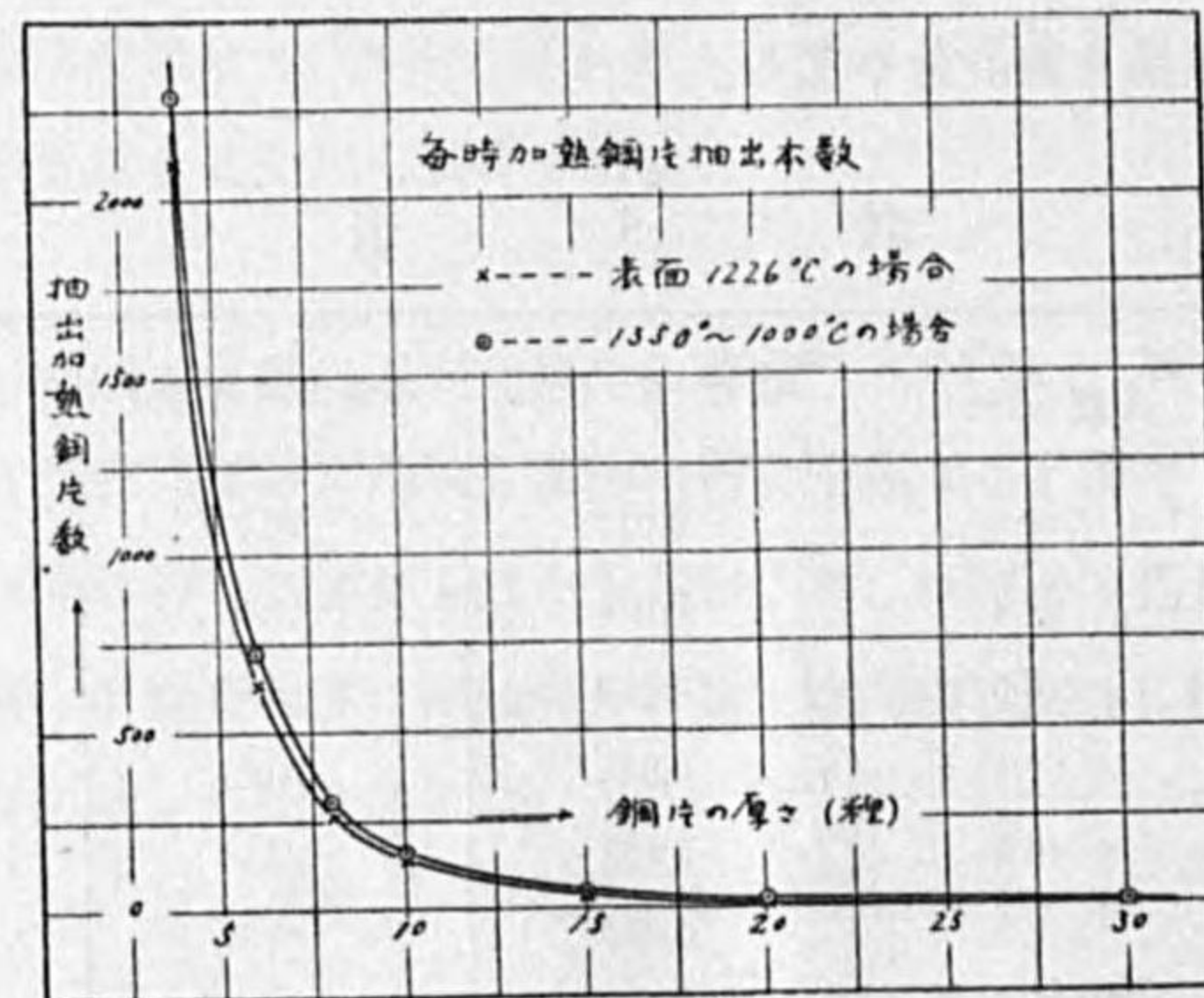
毎時の加熱鋼片噸數と鋼片の厚さとの関係を第8圖に、又毎時抽出せられ得る加熱鋼片の出數と鋼片の厚さとの関係を第9圖に示せり。

(1) 海野 前掲

第 8 圖



第 9 圖



是によりて考ふるに、抽出せられ得る鋼材の枚数より考ふるも鋼片の厚さ増加すれば二乗の割合を以て減少するものたる事を知る。

今毎時の加熱鋼片枚数を y 鋼片の厚さを x とすれば、第 8 圖に示せる曲線は次の式を以て表はさる。

表面 1226°C に到達する場合 $xy=125$

1350°~1000°C の場合 $xy=107$

即ち何れの場合にありても $xy=定数$

なるを以て、抽出枚数を増加せしめんとせば、反對に鋼片の厚さを減少せしめざる可からざるを以て互に反對の關係にあり。毎時の加熱抽出鋼片数も亦同様なるを知る。

第 2 章 厚さの増減と加熱時間との實驗的例證

第 1 節 實驗方法

鋼片の加熱及び冷却に關しては既に研究せるものあれども、鋼片の大きさを變へて熱源に裝入せられたる時、其鋼片の内外に於ける溫度上昇模様は時間と共に如何に變化するかに就きては、甚だ少なきの觀あり。第 1 章に於ては、鋼片の一面より熱流が直進する場合に於ける鋼片の厚さと所要溫度に到達する時間との關係を求めたるが、熱流として四方より加熱する場合に於ては、如何なる關係にあるかを知らんが爲めに次の實驗を行へり。

熱源として使用せる電氣爐の内部は、19×18×38 寸、外部は、60×42×60 寸にしてニクロム線を使用せる抵抗電氣爐なり、電氣爐及び測定に使用せる試料は第 10 圖に示せり。實驗中の平均電壓は 195 ボルト、平均電流は 13.5 アンペア、電氣爐の抵抗は平均 14.4 オームなりき。

試料鋼片は、中心迄直徑約 3~6 寸の穴を作り、補正を行へる白金及び白金ロジウム熱電對を挿入し、又試料の上部表面にも同種の熱電對を接觸せしめ、900°C の一定に保たれたる爐内に試料と共に裝入し、此兩熱電對が 900°C に到達する迄の時間と溫度との關係を求めたるものなり。實驗に供せ

(1) Sejo Saito, Journ. Soc. Mech. Eng. 21 (1927), 15.

海野 製鐵所研究所研究報告 7 (1927), No. 9.

海野 製鐵所研究所受付研究 80 (1926)

られたる試料の大きさ及び分析次表の如し。

正 立 方 体

No.	2	3	4	5	7	8
一辺の長さ(㎝)	12.4	10.	7.5	5.	3.	2.
C (%)	0.16	0.18	0.16	0.16	0.21	0.20
Si (%)	0.019	0.019	0.021	0.012	0.012	0.012
Mn (%)	0.39	0.37	0.41	0.39	0.40	0.39
P (%)	0.024	0.026	0.027	0.022	0.028	0.023
S (%)	0.028	0.031	0.036	0.025	0.042	0.037
Cu (%)	0.22	0.23	0.22	0.22	0.23	0.22

正 長 方 体

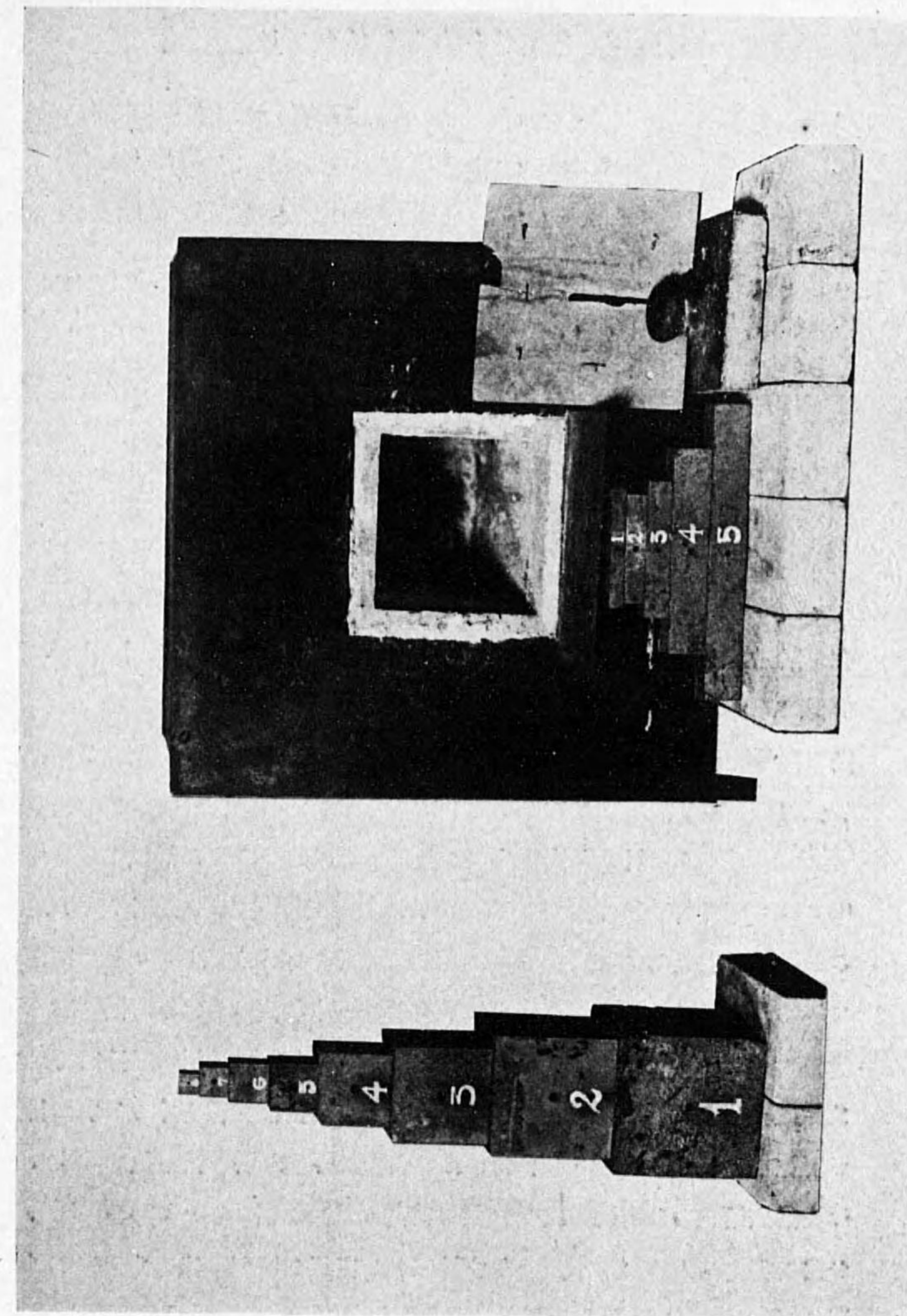
No.	1	2	3	5
各邊の長さ(㎝)	1.5×1.5×12	2×2×11	2.5×2.5×13.8	3.7×3.7×30
C (%)	0.07	0.05	0.07	0.08
Si (%)	0.013	0.017	0.013	0.014
Mn (%)	0.38	0.37	0.40	0.41
P (%)	0.022	0.023	0.027	0.027
S (%)	0.042	0.039	0.053	0.060
Cu (%)	0.16	0.15	0.17	0.17

又冷却に際しては、爐内にて鋼片の内外共に 900°C に到達せる後爐外耐火煉瓦上に引き出だし、兩熱電對の示す温度を時間と共に讀めるものなり。

第2節 測定の結果

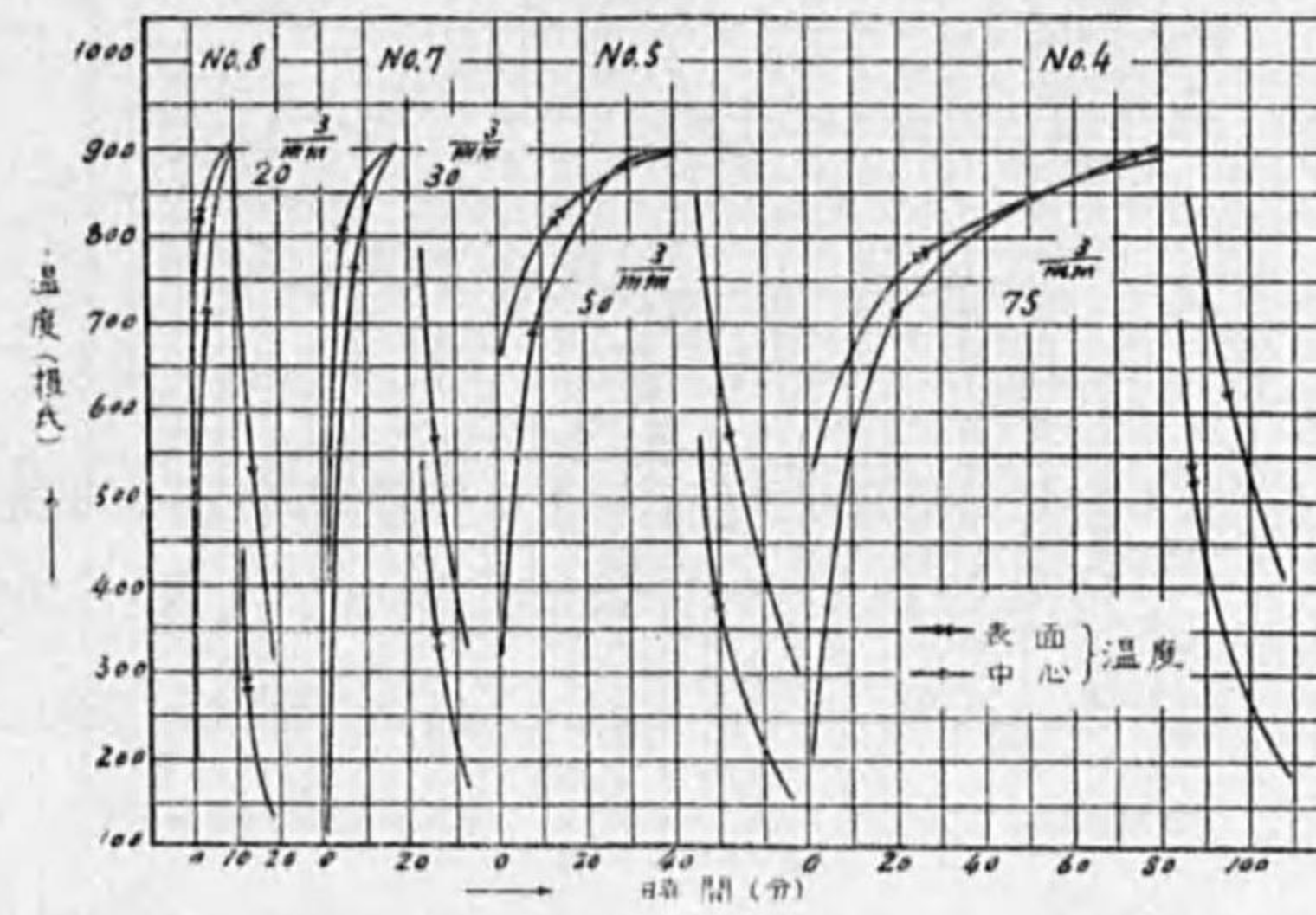
斯くして得たる時間と温度との關係を第11~13圖に示せり。

第 10 圖

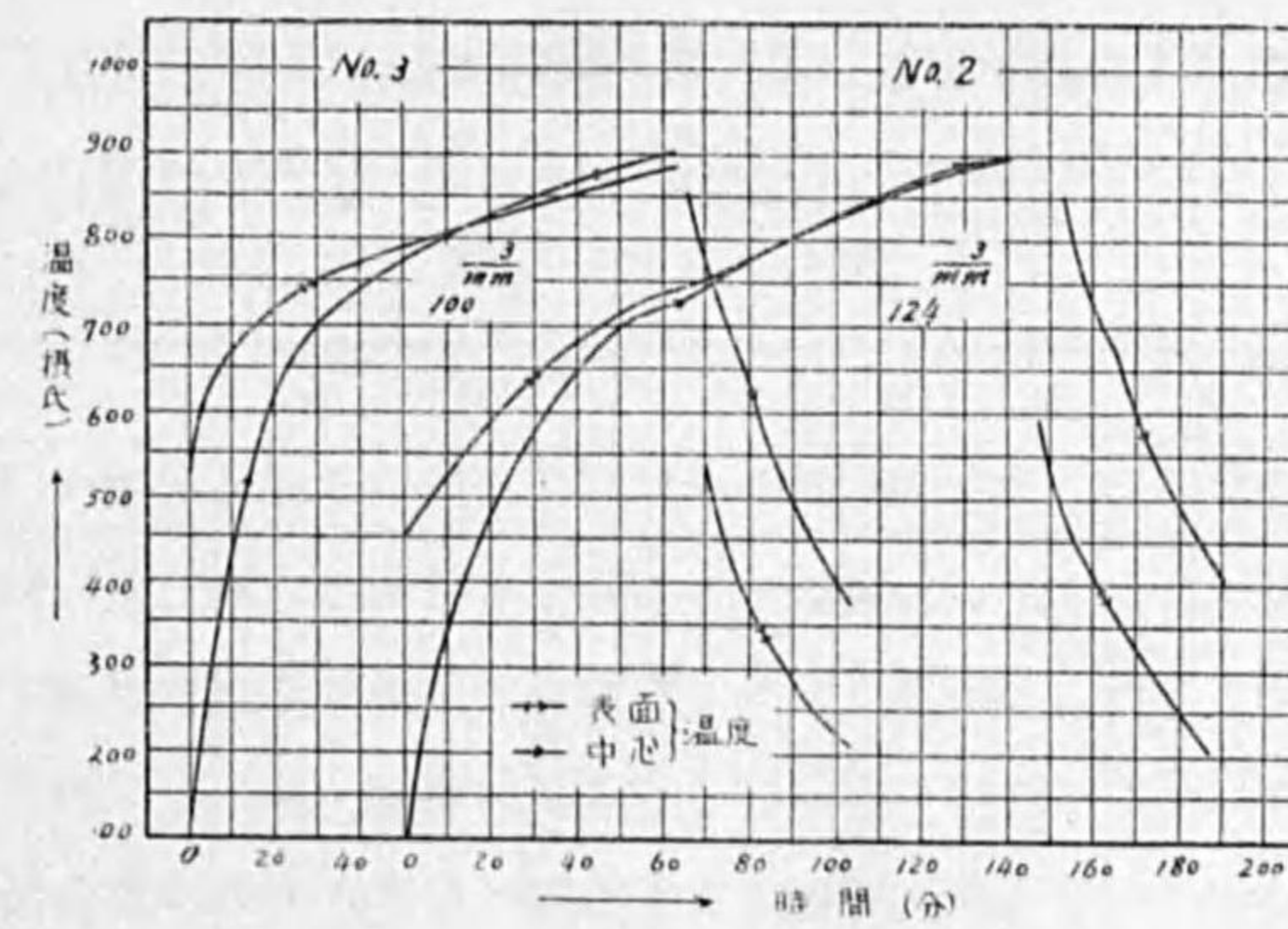


鋼片の加熱速度に就きて

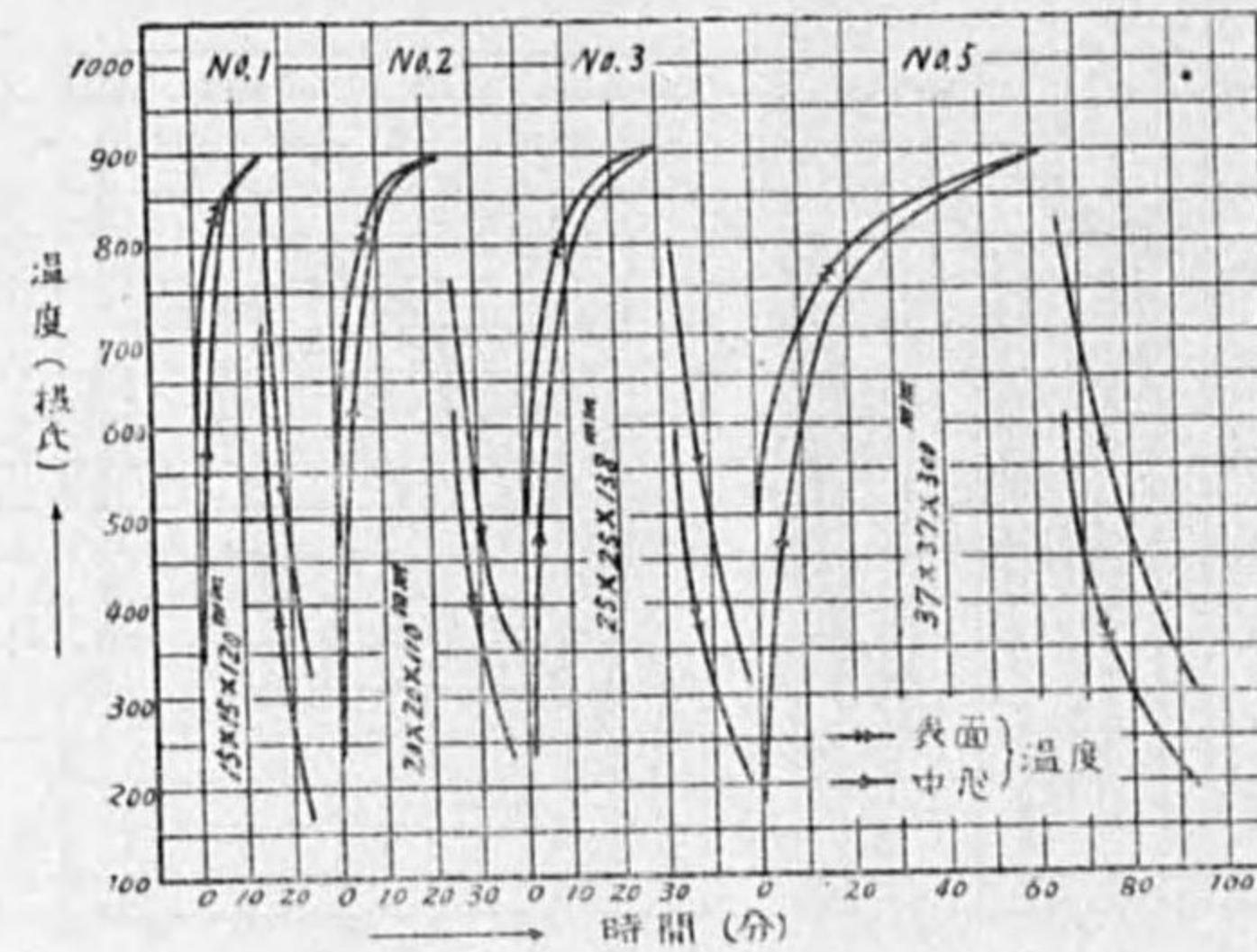
第 11 圖



第 12 圖



第 13 圖



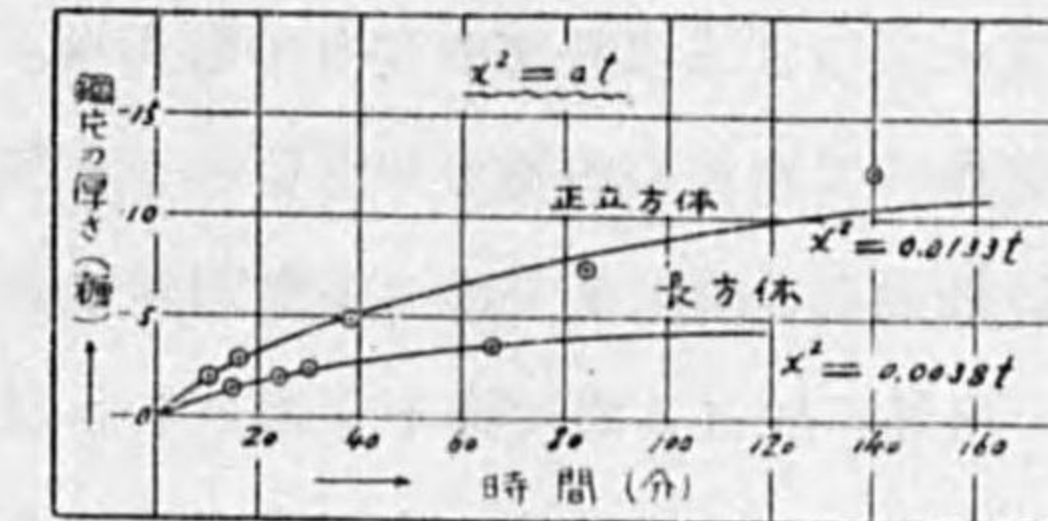
此結果を通覧するに鋼片の内外が900°Cに到達する時間は、其鋼片の大きさの増加に従て長し。今正立方体にありては一辺の長さ、又正長方体にありては、短邊の長さを探り、此一邊の長さの増加と各鋼片の内外が同一温度900°Cに到達する時間とを求むるに第5表の如し。

第 5 表

正 立 方 体		正 長 方 体	
No.	時 間 (分)	No.	時 間 (分)
2	140	1	15
3	120	2	24
4	84	3	30
5	38	5	65
7	16		
8	10		

此關係を示せるものは第14圖なりとす。

第 14 圖



加熱温度其他の周囲の状況相違すと雖も、前章に於ける場合を茲に導き來りて列記するに、

- 1350°~1000°C (板 状)..... $x^2=0.0315 t$
- 1350°~1100°C (全 上)..... $x^2=0.0158 t$
- 1350°~1200°C (全 上)..... $x^2=0.0057 t$
- 1450°~1000°C (全 上)..... $x^2=0.0459 t$
- 1450°~1100°C (全 上)..... $x^2=0.0270 t$
- 1450°~1200°C (全 上)..... $x^2=0.0136 t$
- 900°~ 900°C (正立方体)..... $x^2=0.0133 t$
- 900°~ 900°C (正長方体)..... $x^2=0.0038 t$

となり何れも

$$x^2 = at$$

なる關係にある事を知る。茲に x は鋼片の厚さにして t は時間を表はし、 a は周囲の状況及び鋼片の種類形状等によりて定まる定數なり。従つて此結果よりしても鋼片の大きさ相似的に増加すれば、其加熱に要する時間は二乗の割合を以て増加する事を實驗的にも確かむる事を得たり。第14圖に示せる實驗の結果が前章の板状の場合と異なるは、鋼片の形、熱流の方向其他周囲の状況相違するが故に當然の結果なる可し。

第3節 鋼片の大きさと其内外の冷却速度

物体の冷却に關しては今日迄既に數多の報告あり、其實験状況、種類等千

差萬別なるも、加熱鋼片が爐外に抽出せられたる時其表面及び内部中心が如何なる温度降下をなすかにつきては甚だ少なきの觀あり。

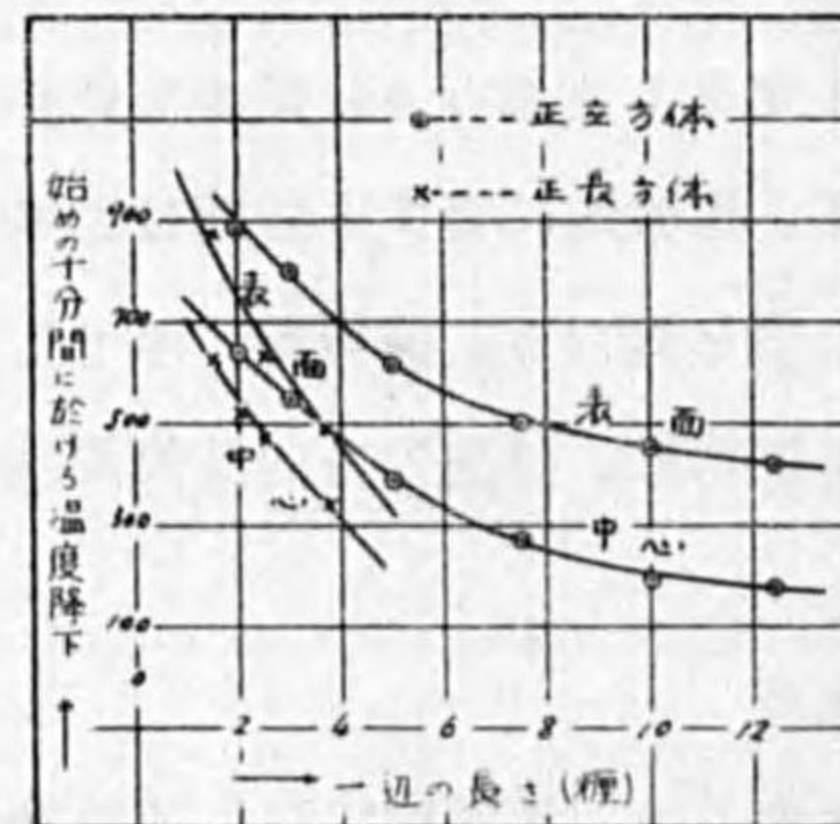
本實驗に於ては、爐内にて鋼片の内外が900°Cの一定温度に達せる後直ちに爐外の耐火煉瓦上に抽出し、挿入せられたる熱電對と表面に接觸せる熱電對とによりて、鋼片の内外に於ける温度降下を讀めるものなり。第11~13圖に示す如く、鋼片の小なるものは加熱及び冷却速度共に大にして、鋼片の大なるものは兩速度共に小なり。今加熱鋼片抽出直後10分間に於ける表面及び其内部中心の温度降下を讀むに、第6表を得。

第 6 表

正 立 方 体			正 長 方 体		
一邊の長さ(寸)	中心降下温度(°C)	表面降下温度(°C)	大きさ(寸)	中心降下温度(°C)	表面降下温度(°C)
2.0	640	880	1.5×1.5×12	630	870
3.0	550	800	2×2×11	520	
5.0	385	620	2.5×2.5×13.8	470	630
7.5	270	500	3.7×3.7×30	340	490
10.0	190	450			
12.4	175	420			

此關係を示せるものは、第15圖なりとす。

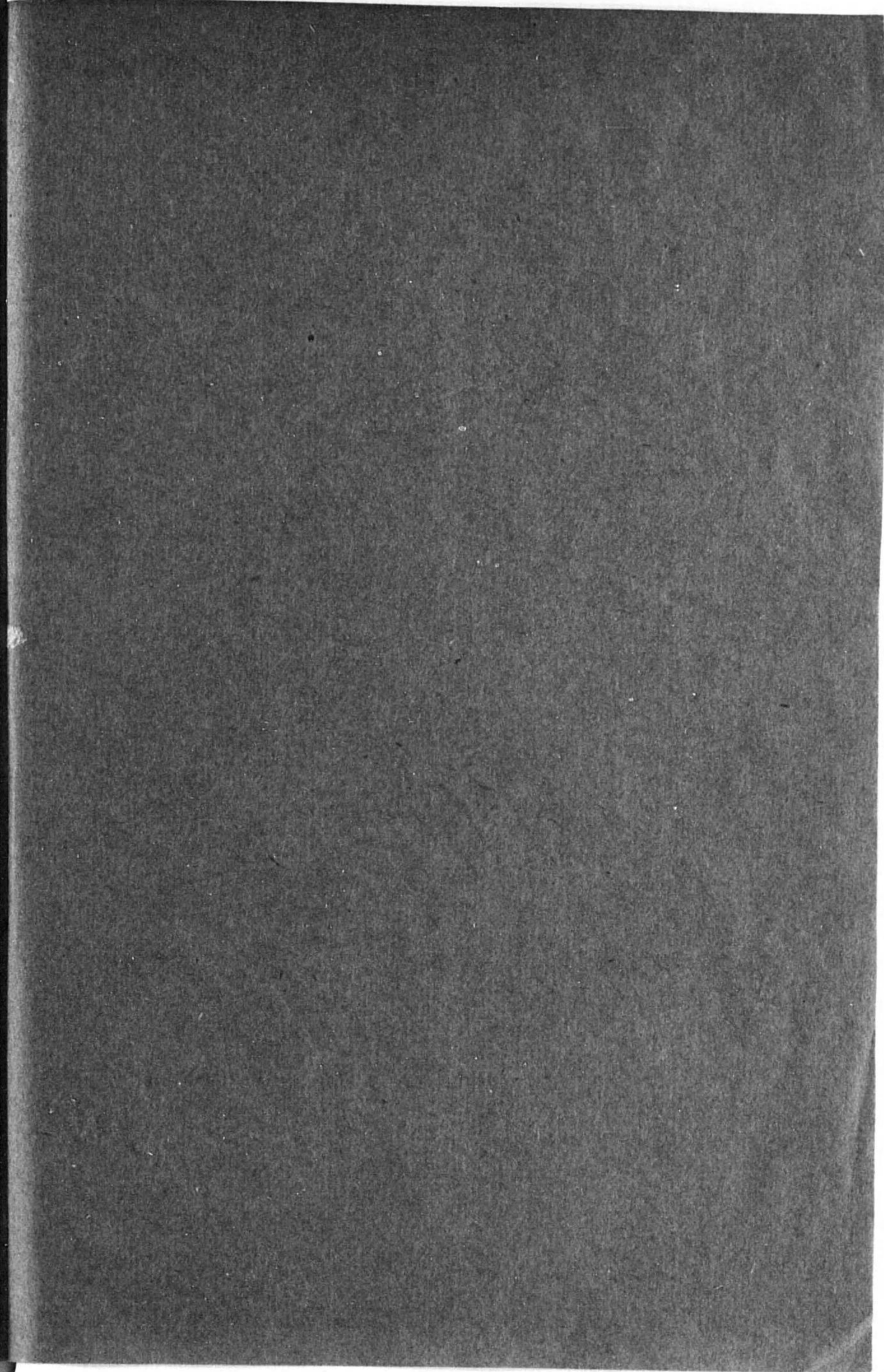
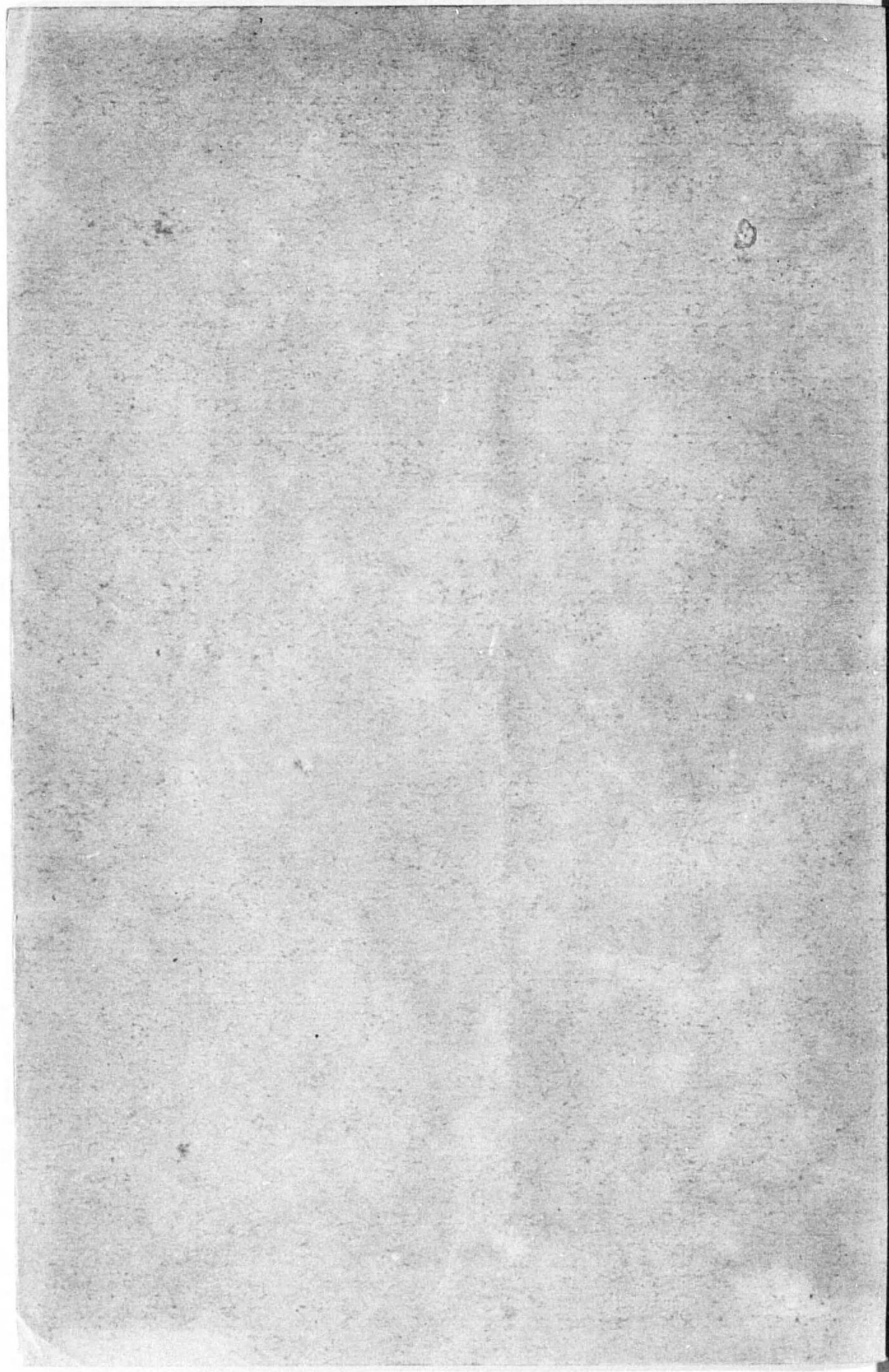
第 15 圖



此結果よりして知らるゝ如く、鋼片小ならば内外共に冷却速かなるも、鋼片の大きさ増加すれば内外共に其温度降下少く且つ外面に比して内部の冷却は甚だ緩かなり。従つて鋼片の内外の温度の差は時間と共に益々増加するを知る。去り乍ら最後に到達す可き温度は内外共に常温なる可きを以て、此内外の間隔ある温度

も長時間後は兩者同一になる可きは勿論なり。冷却始めに於て内外の温度の差は益々増加するが故に、大なる鋼片にありては其表面温度降下すと雖も内部は尙ほ相當の高温度にある事を想像せらる可し。又正立方体と正長方体とを比較するに、前者は其加熱速度大なる結果を示せり。是其体積相異なるが故に當然の結果なる可し。

終りに臨み、御指導を辱ふしたる技監工學博士野田研究所長並に動力部長岸原主事に對し厚く感謝の意を表す。又熱心に實驗に従事せる岡田、中畑兩副手、瀬戸、森口、三寛田諸氏に對し其勞を謝すものなり。



14. 5-131



1200600208641

14.5

131

終