

鐵及び鋼の熱傳導率

丸江仁

目次

緒言

- (1) 絶對測定
- (2) 比較測定
- (3) 結果

緒言

鋼材の熱傳導度なる性質は種々の方面に於て極めて重要な意義を有するものなり、例へば砲身エロウジョンの如きは熱傳導良きものを採用してその熱を外部に放散することを計ればその害は少なからず軽減せらるべく其他蒸氣機關及内燃機關特に後者の氣筒の材質が熱傳導良きものならばその機械の能率及壽命を大ならしむるものなるを以て此の性質は鐵鋼材の製造者も需要者も大に注意を拂ふべきものなり。

鐵鋼材の熱傳導に関する文獻を調査したるに其の品種少くして未だ盡さざる所あるを以て之を補はんがため此の研究に取掛り約一ケ年に亘りて實驗したる結果を茲に報告せんとす。

此の實驗の進行中昨年十一月の「金屬の研究」に増本量氏の研究報告を見るを得たり、之は種々の鋼及鑄鐵等の熱傳導と電氣抵抗とを對比研究せしものこて甚だ興味あるものなり。

吾人の此の研究は専ら實用を主眼とせしを以て溫度の範圍も成るべく都合し得る限り實地の場合に近からしめたり、而して實驗法及計算法の繁雜なるは勞力を要する點に於て不利なるのみならずそのため種々の誤差を惹起する懼多きを以て實驗も算式も從來用ひられしものに比して頗る簡易なるものを特に工夫せり。實驗の方法としては先づ特に標準と定めたる材料に就てその傳導率を絶體的に測定し他の材料は之と對比して測定することとせり。以下順を追ひて之を述ぶべし。

(1) 絶對測定

傳導率の絶對測定を行ふに次の如き方法を探りたり、即ち標準試料にて一定斷面の太き方壻を造り之の下端より加熱してその上に置かれたる水槽を通過する水を暖め出入の水及び試片各部の溫度が定常状態になるを待ちて次の式に含まるゝ諸數値を實測す。

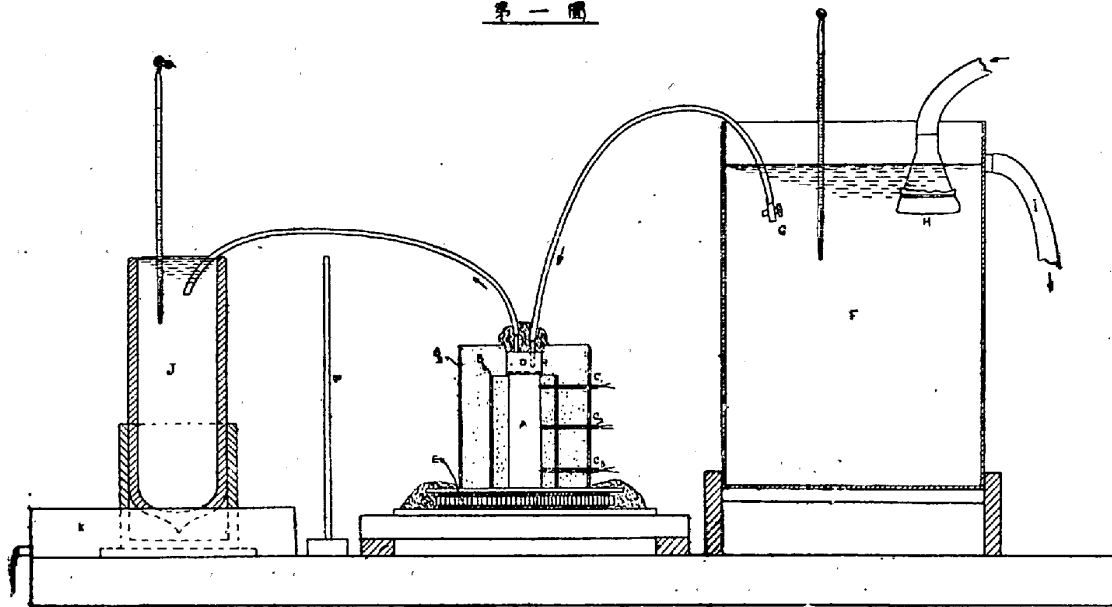
$$K = \frac{wl(t_4 - t_3)}{q(t_2 - t_1)}$$

但し此の式に於ける記號の意味次の如し。

- q 試片の斷面積
 l 試片縱軸に沿うて取りたる二對の距離
 t_1, t_2 上記二點に於ける溫度
 w 單位時間に流るゝ水の質量
 t_3, t_4 水槽に入る前及び出たる後の水の溫度

是等の中 q と l とは試片製作の際に定まるもの、 w を正確に測るため水流の調節に少からず注意を拂ひたり第一圖 J なる魔法瓶より溢るゝ水を流し K に受けて之をメートルガラス E に盛り押止時計にて時間を測り拾分間毎に取りては定量せり。又此の水量を一定ならしめんため大なる水槽 F を設け之に水道の水を受け是に溢流の道 I 及びコック G を附して之を加減せり。又水中の浮游物のため水流が時間と共に細くなるを認め水道口に漏斗 H を附し之に綿ネルの蓋を附して水を漏過せり。

第一圖



圖中 A は試片、 D は薄き銅板にて造れる直方形の水槽、 B_1, B_2 は鐵板にて造れる直方筒なり。その熱傳導度は相當大なるを以て試片より側方に向つて熱の放散するを防ぐに役立つべく尙之等の筒の内部にはマグネシアを充して充分熱の放散を防ぎたり。又水槽 D の上方水の出口の部分が大氣に露出するを防ぐため此の部分をも更に石綿にて包みたり。 C_1, C_2, C_3 は三個の熱電偶にてニクロム・コンスタンにて造りその尖端は試片の側面に一垂直線上等距離に穿ちたる孔に挿入せられたり。此の中央の一個は溫度分布が一様の勾配になり居るや否やを吟味するために備へたり。

試片を加熱するためには電熱板 E を用ひたり。之は絶縁せる銅板にニクロム線を巻きたるものなり。その上に更に一枚の銅板を布きその上に試片並に B_1, B_2 を乗せたり。又 m は衝立にて魔法瓶内の水が輻射熱のために温めらるゝ事を防ぐために設けたり。試料は良く鈍したる坩堝鋼にてその化學成分次の如し。

C	Si	Mn	p	S	Ni	Cr	Cu
.13	.51	.01	.005	.010	.05	.03	.016

以上の方法にて實測せる結果次の如し。

$$\begin{aligned}
 w &= 1.088 \text{ gr.} & l &= 7.0 \text{ c. m.} \\
 q &= 14.75 \text{ Sq. c. m.} \\
 t_1 &= 187^\circ & t_3 &= 12.6^\circ \\
 t_2 &= 225^\circ & t_4 &= 23.5^\circ
 \end{aligned}$$

之等の値を入れて計算せし結果此の材料の熱傳導率は次の如し。

$$K = \frac{1.088 \times 10^9 \times 7}{14.75 \times 38} = 0.1481 \text{ (C. G. S.) Cal.}$$

(2) 比較測定

細長き棒状試片の一端を加熱してその表面の輻射に依りて熱を失ひつゝ定常状態になりたるときの熱傳導の様子は次の式にて表はさる。

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = \frac{hp}{KS} V$$

茲に V は温度、 t は時間、 x は長さに沿うての距離、 p は周邊、 S は斷面積、 h は發散率、 K は傳導率なり上の式に於て $\frac{hp}{KS}$ を a^2 と置けば次の如くなる

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = a^2 V$$

此の微分方程式の一般の解は次の如きものなり。

$$V = Ae^{ax} + Be^{-ax}$$

茲に於て X が ∞ なるとき V は有限なる故 A の値は 0 なるべく又 X が 0 なる點に於て V が V_0 なりとせば B は V_0 とすべきなり。依て上の式は次の如くなるなり。

$$V = V_0 e^{-ax}$$

今二種の材料にて同形の棒を作り第二圖に示す如き方法にて之等の一端を共通の温度 V_0 に暖め定常に保ちたる時各試料の熱端より X の距離にある點に於ける温度を夫々 V_1, V_2 とせば次の如し。

$$V_1 = V_0 e^{-x} \sqrt{\frac{hp}{K_1 S}}$$

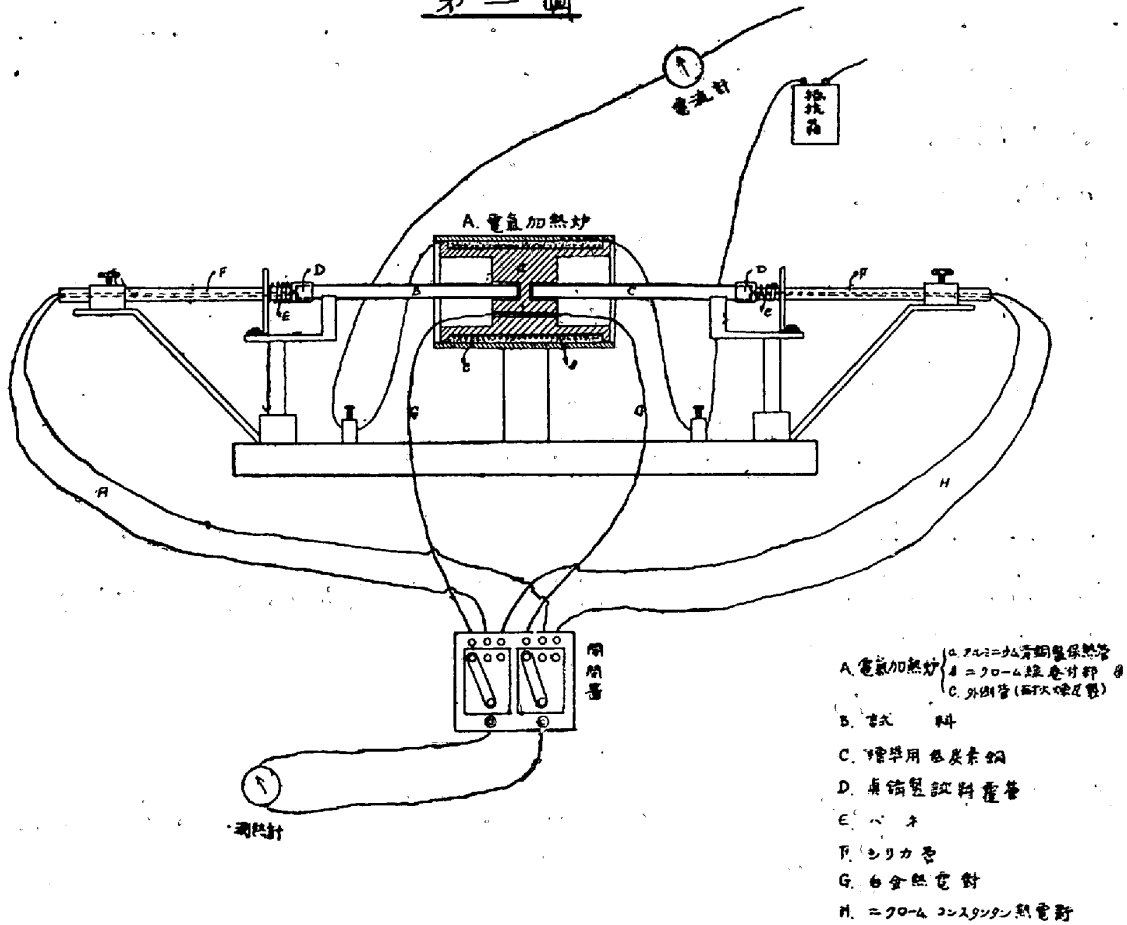
$$V_2 = V_0 e^{-x} \sqrt{\frac{hp}{K_2 S}}$$

但之等の式に於ける K_1, K_2 は各試料の傳導率とす。

上の兩式の對數を取れば次の如し。

$$\ln V_0 - \ln V_1 = x \sqrt{\frac{hp}{K_1 S}}$$

第二圖



$$\ln V_0 - \ln V_2 = x \sqrt{\frac{hp}{K_1 S}}$$

此の兩式に於て棒の斷面積 S 周邊 P 及長さ X は双方共通なり。又發散率 h も鋼又は鑄鐵ならば皆一樣なるものと考へ得るを以て之等を共通因子として消去せば次の式を得。

$$\frac{\ln V_0 - \ln V_1}{\ln V_0 - \ln V_2} = \sqrt{\frac{k_2}{k_1}}$$

此の式は分母子共に對數の一次式なる故直に常用對數に書直し得て次の如くなる。

$$\frac{k_2}{k_1} = \left(\frac{\log V_0 - \log V_1}{\log V_0 - \log V_2} \right)^2$$

此の式は今報告せんとする實驗に適合する様に基本公式より導出したるものなり。而して之は従來用ひられたる式よりも簡單なり。此の式にて傳導率を計算するには標準試料の傳導率 K_1 の他に V_0 V_1 V_2 即ち定常状態になりたるときの中央及び兩端の溫度を測れば可なり。

裝置に就て最も注意せし點は熱源の電氣爐にて之は専らその中央部のみより試片に熱を供給し他の部分は成るべく熱を與ふる事なき様工夫せり。圖に於て見る如く切口1字形の圓筒狀爐格の中央なる節の部分に兩試片を挿入しその他の部分は廣く試料より離したり。之は試片の一端のみ加熱せらるゝ

ものと看做したる假定に反せざらんがためなり。又爐體の溫度を一樣ならしめんため之を金屬にて作ることとし實驗進行中酸化のため試料との接觸状態に不安を生ずることなきため實驗溫度にては殆ど酸化することなきアルミニウム青銅を用ひて之を作りたり。而して圖に示す如く爐室内の中央部の溫度を以て試片熱端の溫度とし試料の末端は眞鍮の帽を着せてそれに穿ちたる孔よりニクロムコンスタタン熱電對を挿入して溫度を測りたり。又此の帽の兩端より發條にて試片を中央に向つて押し以て熱端の接觸を確實にせり。支柱の腕にて直接試片に觸るゝ部分は木材にて作りたり。試料は徑5耗長さ10厘の丸棒なり。此の實驗に於ける溫度の讀み方は凡て室溫と各點に於ける眞の溫度との差を採るべきものなるを以て一旦補正を加へたる測熱計の讀みより更にその時刻の溫度丈けそれより控除したるものを取りて V_0 及 V_1, V_2 とせり。

(3) 結 果

以上記述せる方法にて實測せる結果次表に擧げたるが如し。試料としては普通日本製鋼所製の製品用材を始めとし各種の特種鋼を取りその他ニツケル、クローム、滿俺珪素等諸元素の影響を見んため純鐵に近きものを主材として之等の元素を單獨に添加せるものを若干種宛作りて試験せり。又炭素鋼の炭素含量異なるものを試験して炭素の影響の大體を知り供試鋼に近きものに就きて熱處理の効果も見たり。鉄鐵に關しては鼠鉄が不良導なる黒鉛を以て鏤められたるに關らず白鉄に比して傳導度宜しきはセメントと地金との傳導率の差が甚しきを示すものなり。鋼の含有する元素に就ては炭素及銅は或る範圍に於て傳導を増すことあれどもニツケルクローム珪素及滿俺は常に傳導を不良ならしむるものなり。また炭素鋼に就て其の組織よりいへば波來土最も宜しく粗粒培之に次ぎ麻亞田乃至大洲田は傳導最も不良なり。

是等の結果が正しきや否やを確かめんがため試片の位置を右と左と交換して再試せしこともあり。又最上の標準に對して測りたる後別に同様にして測りたる他の材料と組合せて測りたることもあり。之等の何れの場合も同一の材料は良く一致せる傳導率の値を與へたり。

此の實驗は室蘭の日本製鋼所研究係に於て行ひたるものなり。研究を援助せられし久保田堅氏及其他の係員に對し感謝の意を表す。

熱 傳 導 率 測 定 表

試料	爐の温度	標準材料 末端温度	試料 末端温度	熱傳導率	備考				
Ni 1%	393	59.0	51.0	.1243	試料は標準材料にニッケルを加へて 作れり				
	3	293	54.8	47.4		.1259			
	4	299	58.7	51.0		.1251			
	5	295	49.0	47.0		.1414			
	6	298	59.6	51.0		.1242			
	7	298	54.2	44.4		.1186			
	10	300	62.0	39.6		.0899			
Mn 1%	293	59.6	55.0	.1342	試料は標準材料にマンガンを加へて 作れり				
	2	300	60.7	51.0		.1205			
	3	305	61.8	53.3		.1205			
	5	305	54.5	39.0		.1038			
	8	305	60.3	27.0		.0679			
	10	300	61.8	29.8		.0693			
	12	303	60.7	27.3		.0661			
Cr 1%	299	58.3	51.5	.1287	試料は標準材料にクロムを加へて 作れり				
	2	299	56.0	54.1		.1420			
	3	301	59.0	55.0		.1359			
	5	299	58.0	37.0		.0913			
	7	300	55.0	43.8		.1152			
	10	299	59.6	39.0		.0929			
	12	301	54.5	39.6		.1052			
	15	300	56.2	33.0		.0851			
Cu 5%	298	46.0	54.8	.1792	試料は庖丁鐵に銅を加へて作れり				
	1	298	49.0	52.7		.1602			
	1.5	295	50.0	52.88		.1571			
	2	300	44.0	51.0		.1727			
	2	300	53.8	55.8		.1540			
	3	295	50.0	55.0		.1665			
	3	302	54.8	58.0		.1571			
	4	298	47.4	62.6		.2062			
	5	298	46.0	59.0		.1959			
	Si 5%	297	57.0	55.9		.1443	試料は庖丁鐵にシリコンを加へて作 れり		
1		298	49.0	41.0	.1202				
1.5		298	44.0	35.0	.1181				
2		303	51.2	38.2	.1093				
3		298	56.7	40.0	.1010				
C	.39%	295	52.8	43.0	.1176	C	Si	Mn	Ni
	.62	295	55.8	48.2	.1108	.39	.13	.58	.20
	1.00	300	57.0	49.9	.1270	.62	.29	.22	.27
	1.55	305	57.0	48.0	.1218	1.00	.34	.28	.13
					1.55	.35	.24	.23	

試料	爐の温度	標準材料 末端温度	試料 末端温度	熱傳導率	備考
白鉄	298°C	51.8°C	15.0°C	.0503	
鼠鉄	295	55.0	58.6	.1602	
鍛鐵	290	55.0	58.6	.1602	
庖丁炭	300	51.7	62.6	.1857	
炭素鋼	300	52.8	34.2	.0948	C .95 Si .24 Mn .22 Ni .39 850°Cにて曹達水中に焼入せるもの
〃	291	51.8	44.0	.1237	同 上 450°Cにて焼戻せるもの
〃	299	50.8	47.8	.1335	同 上 850°Cにて焼鈍せるもの
滿庵鋼	300	63.0	16.3	.0426	C1.2 Mn12 1200°Cにて油焼入せるもの
K.S.鋼	299	64.8	64.0	.1457	
コバルト鋼	298	55.0	56.7	.1540	庖丁鐵にK,S.鋼10%を加へたるもの
炭素鋼	290	64.8	63.0	.1425	C .33 Si .12 Mn .48
ニッケル鋼	302	63.7	50.8	.1129	C .33 Ni 3.17 Cr 0.45
ニッケル鋼	298	54.5	47.2	.1259	C .45 Ni 3.41
坩堝鋼(A)	300	61.8	50.0	.1150	C .26 Si .26 Mn .32 P — S .013 Ni 2.23 Cr .88 V .38
同(B)	292	45.6	40.3	.1303	C .22 Si .23 Mn .60 P .14 S .009 Ni 2.58 Cr .22 Cu .140 W .34
同(C)	295	47.3	37.0	.1116	C .37 Si .37 Mn 1.04 C .016 S .1 Ni 2.36 Cr .82 Cu .152
高速度鋼	284	59.0	33.5	.0915	
高炭素鋼	298	62.4	56.7	.1314	C 1.23 Si .13 Mn .07
低炭業鋼	288	53.0	63.5	.1857	C .05 Si .01 Mn .04
Fish-Plate	285	18.6	60.0	.1908	C .21 Si .09 Mn .14 P .027 S .025 Ni .18 Cr .06 Cu .068