

本邦珪素鋼板製造の發達

工學士 水谷 浩*

I. 珪素鋼板製作の經歷と將來

世界大戰當時鐵價の暴騰と輸入不圓滑より種々の計畫又は試作ありたるも平和克復と共に中絶し、大正 11 年頃八幡製鐵所鍛鋼工場に於て珪素 0.7% 以上各階級の成分を低熱壓延法を以て試壓延し焼鈍は電氣爐にて施し種々の試験を行ふも未だ實用の域に進まず中止したり。當時本邦各電氣機器製造者にて使用したる珪素鋼板は第 1 表の如き品位のものにして之を目標として種々研究せられたものである。

其後獨逸人技師長ルヴオスキー氏、職工長ヘンケ氏の指導の許に電動機用珪素鋼板 28#×750mm×1,500mm のものを第二薄板工場にて試壓延したのは實に大正 14 年 2 月 10 日の事である。當時原料シートバーは 25t 平爐製

の鋼塊を平鋼工場で製作し選別に選別を重ねて優良なるもののみを選出して、3 月末迄に 81t 餘を壓延し 71t 餘の精整品を得て歩留 87% を得一同凱歌を上げたものである。大正 14 年はハッドフィールド氏が珪素鋼を發見し本格的製作に當りし 1907 年より實に 18 年目に當る。其後漸次鋼板の幅を擴大すると共に長を増し種々の厚さのものを製作した。

大正 14 年中の成績を示すと次の通である。

製品寸法	材料壓延(噸)	精製一級	歩留
30#×3'×6'	11,347 kg	8,180 kg	72%
28#×3'×6'	148,535	116,367	78
25#×3'×6'	92,605	77,287	83

品種としては主として次の如く C 規格相當のものを製作した(第 2 表)。

珪素含有量 1.5~1.79% 迄 厚 0.35mm

第 1 表 内地市場に於ける珪素鋼板試験成績

番 號	寄贈會社	製造所	名 稱	化 學 成 分									厚 比 mm 重	鐵損 w/kg 50~1萬 ガウス	導 磁 率			
				C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	25 in	50 in			100 in	300 in		
1	芝浦製作所	不 載		0.10	3.43	0.16	0.01	0.02	0.05	0.19	0.43	7.60	1.66	14,910	15,850	17,030	19,290	
2	"	"		0.08	1.14	0.21	0.01	0.02	0.04	0.14	0.37	7.71	2.00	15,530	16,630	17,800	20,100	
3	"	"		0.09	1.11	0.26	0.09	0.02	0.05	0.16	0.42	7.74	2.40	15,780	16,730	17,880	20,350	
4	日立製作所	Alleghany	Transformer Sheet	0.08	3.75	0.08	0.01	0.01	0.03	0.25	0.36	7.61	1.54	14,770	15,830	17,060	19,340	
5	"	"	Dynamo Sheet	0.05	1.31	0.22	0.02	0.02	0.05	0.12	0.35	7.74	2.63	15,250	16,290	17,490	19,970	
6	"	Sankey	Special Lohys	0.06	0.70	0.31	0.03	0.01	0.03	0.14	0.34	7.81	2.46	15,580	16,570	17,770	20,390	
7	"	U. S.	Dynamo Special	0.05	3.59	0.15	0.02	0.01	0.03	0.13	0.36	7.63	1.92	14,940	15,980	17,190	19,460	
8	神戸三菱造船所	"	Appollo Special	0.07	4.28	0.14	0.02	0.02	0.03	0.16	0.37	7.54	1.54	15,220	16,140	17,460	19,410	
9	"	"	Electrical	0.08	0.86	0.24	0.07	0.03	0.03	0.13	0.37	7.78	2.59	15,920	16,840	17,970	20,350	
10	長崎三菱造船所	Sankey	Stalloy	0.07	3.49	0.19	0.01	0.01	0.06	0.14	0.36	7.48	1.75	14,440	15,410	16,620	18,930	
11	"	"	"	0.10	3.68	0.17	0.01	0.02	0.05	0.16	0.55	7.49	1.75	15,030	16,000	17,260	19,520	
12	"	"	Lohys	0.08	1.04	0.22	0.05	0.02	0.02	0.14	0.51	7.73	2.75	15,390	16,250	17,370	19,890	
13	"	"	Stalloy	0.09	3.25	0.14	0.06	0.02	0.03	0.15	1.75	7.64	5.86	15,200	16,410	17,720	20,160	
14	"	"	Lohys	0.09	1.58	0.24	0.06	0.02	0.04	0.12	1.59	7.77	8.34	14,890	16,230	17,540	20,140	
15	"	U. S.	Appollo	0.07	4.04	0.14	0.01	0.02	0.05	0.14	0.54	7.45	1.89	14,890	15,840	17,050	19,280	
16	川崎造船所	"		0.06	3.92	0.13	0.01	0.01	0.04	0.16	0.37	7.57	1.69	14,930	16,040	17,290	19,420	
17	"	"		0.06	2.90	0.14	0.06	0.02	0.04	0.14	0.51	7.59	2.05	15,170	16,190	17,360	19,610	

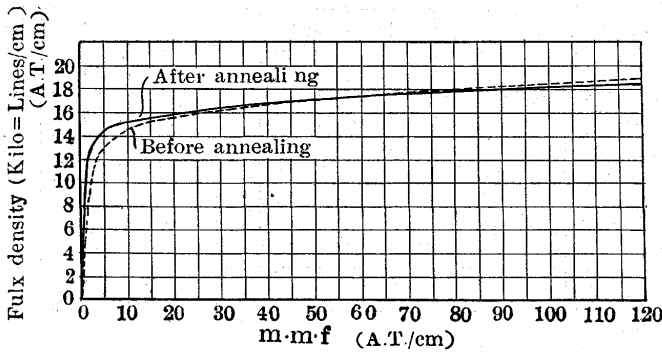
* 日本製鐵株式會社 八幡製鐵所

第 2 表

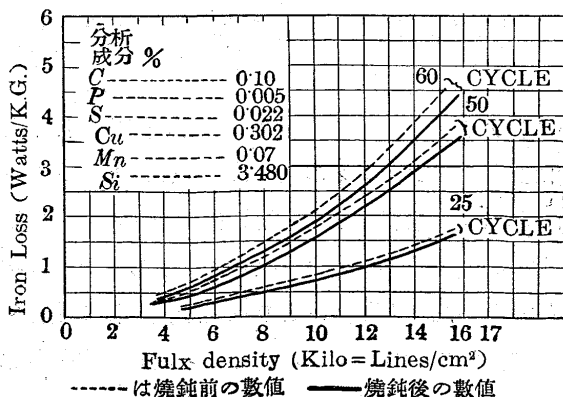
鋼 番	Si	磁化力				鐵損	
		25 A.T.	50 A.T.	100 A.T.	300 A.T.	V 15	V 10
64204	1.540	15,200	16,390	17,640	20,110	5.083	2.121
58712	1.547	15,190	16,330	17,510	19,980	5.251	2.189
65155	1.550	15,100	16,240	17,360	20,010	5.405	2.171
65406	1.600	14,970	16,200	17,450	19,950	5.372	2.266
58376	1.638	14,960	16,220	17,470	19,930	5.365	2.214
66186	1.640	14,840	16,080	17,340	19,880	5.403	2.129
65194	1.710	14,820	16,140	17,410	19,910	5.207	2.147
65441	1.520	14,910	16,150	17,430	19,940	5.223	2.150
66519	1.720	15,000	16,240	17,520	20,060	5.111	2.108
66020	1.770	14,910	16,100	17,350	19,830	5.177	2.065
66075	1.790	14,930	16,140	17,420	19,940	5.078	2.046

何分にも此の鋼板が電動機の生命ともなるものであつて當時各電氣機製造業者が歐米品崇拜の念堅く、一方設計の変更の繁雜を厭ひこの販賣には一方ならざる辛苦を嘗めた各社共自社製品の信用に關するものと杞憂し密かに之を使用するのみにて販路の擴張遅々として進まなかつた。止むを得ず電氣爐にて原料シートバー用鋼塊を製出することを條件として公然と芝浦製作所に販賣の途開け、一方製鐵所第四發電所 25,000 kw 發電機に敢然として使用し優秀なる成績を示し初めて製品の聲價頓に揚り今日の隆盛の因を成したのである。本邦最初の國產大容量發電機を純國產にて成功せる三菱電機會社の努力を多とすると共に新製の珪素鋼板の使用を命ぜられたる當所野田技監の裁斷には感謝

第 1 圖 鐵心の B-H 曲線



第 2 圖 鐵心の損失曲線



すべきものがある。追憶の爲此鐵板の試験表を示せば第 1 ~ 2 圖の如し。

今日 60t 平爐にて珪素鋼板用鋼塊が製出せられ 1 ヶ月數千噸の産出を見るも昔時を追想すれば感慨無量である。

變壓器用珪素鋼板の試壓延を行つたのは大正 15 年 1 月 16 日で當時の寸法は 30# × 760mm × 1,500mm で原料は電氣爐鋼を使用し少量の見本を各電氣機業者に送附したのみで昭和 4 年秋まで壓延を中止して専ら電動機用鐵板の生産増加に努力し其の聲價大いに擧りてより再び變壓器用のものの製造を開始し漸次販路擴張せられて今日の域に達し目下は月産 2,700t に及び完全に外國品を驅逐して居る。

川崎造船所葺合工場にては昭和 6 年 1 月より外國製シートバーを使用して試作を開始し、後鋼塊をも自給するに到り最近月産 300~500t を製造して居る。以上兩者の生産高を以て現在好況時の需要を満し將來の需要増加と高級品製作との準備には目下八幡製鐵所に於て工場建設中である

II. 成分の變化經歷

電氣機用珪素鋼板は鐵損失を下降し時效を防ぐ効果は大なるも導磁率が餘り高くないので漸次珪素含有量を低くして而も鐵損失を増加せしめずして導磁率を高める事に種々の努力を拂つて居る。今成分の變化を順次示すと

創業時代 (大正 14 年 2 月頃)

獨人技師の最初指定したる分析値は次の通りである。

	C	Si	Mn	P	S
A	0.06~0.09	0.6~0.8	0.3~0.4	0.04 以下	0.04 以下
B	0.06~0.09	1.2~1.5	0.3~0.4	0.04 "	0.04 "
C	0.06~0.09	2.00	0.3~0.4	0.04 "	0.04 "
T	0.04~0.06	4.0 以上	0.15 以下	0.008-0.012	0.008-0.012

大正 14 年 12 月指定

	C	Si	Mn	P	S
C	0.09 以下	1.3~1.6	0.35 以下	0.04 以下	0.04 以下

大正 15 年 8 月

	B	Si	Mn	P	S
B	0.09 以下	1.1~1.4	0.35 以下	0.04 以下	0.04 以下

其後導磁率は B 級程度にて鐵損は C 級程度のものを要望せらるるに到り低鐵損、高導磁率のものに進み珪素含有量も 1.1~1.2% 附近を基準とするに到つた。

昭和 2 年 8 月 D 級を制定

	C	Si	Mn	P	S
D	0.08	3.0~3.7	0.35 以下	0.04 以下	0.04 以下

昭和 4 年 10 月 T 級の分析標準値を定む

	C	Si	Mn	P	S
T	0.06 以下	4.0~4.5	0.20 以下	0.012 以下	0.03 以下

昭和 5 年 8 月

	T	Si	Mn	P	S
T	0.07 以下	4.0~4.5	0.25 以下	0.02 以下	0.03 以下

現在の標準分析値次の通り

	C	Si	Mn	P	S
A	0.01 以下	0.8~1.0	0.35 以下	0.04 以下	0.04 以下
B	0.01 "	1.1~1.4	0.35 "	0.04 "	0.04 "
C	0.01 "	1.5~1.7	0.35 "	0.04 "	0.04 "
D	0.08 "	2.5~3.5	0.35 "	0.04 "	0.04 "
T	0.07 "	4.0~4.5	0.25 以下	0.02 以下	0.03 以下

但し T に於ては 4.2~4.3 を目標として居る。

III. 製鋼法變遷

大正 14 年の創業初期にあつては 25t 鹽基性平爐鋼を使用したが販賣宣傳の都合上大正 15 年に電氣爐を使用するに到つた。昭和 5 年 8 月には 15t 酸性平爐にても出鋼し、昭和 7 年 8 月には 1 回出鋼量 60t に及ぶタルボット鹽基性平爐鋼の試用を開始し現在にては此等三製鋼法を共用して居る。當初大容量の平爐鋼にありては成分不均一にして電氣的性質を不安視せられたが、現在の進歩したる製鋼技術を以すれば全く杞憂に過ぎずして優秀の結果を収め熱塊の儘均熱爐に運び分塊ロール機より連続シートバーロール機を通過し 1 回の加熱にてシートバーの優秀なるものを得られ B. C. D 迄は此の方法にて容易に製作せられ、T 級の製作も可能視されて近く實現する豫定である。タルボット法に據る最初の 3 チャージの成績を示せば第 3 表の如し。

第 3 表

(1) 成分

鋼番	C	Si	Mn	P	S
10152	0.09	1.556	0.31	0.014	0.107
10289	0.06	1.325	0.26	0.026	0.150
10298	0.07	1.446	0.16	0.016	0.150

(2) 歴延並に検定成績

鋼番	材料 kg	精整一級 %	検定一級 %
10152	35,617	31,502	88.4
10289	19,117	17,060	89.2
10298	24,802	22,462	90.5

(3) 電氣試験成績

鋼番	磁化力				鐵損	
	25 A.T.	50 A.T.	100 A.T.	300 A.T.	V15	V10
10152	15,250	16,420	17,680	20,150	5,430	2,180
10289	15,420	16,570	17,840	20,190	5,785	2,102
10298	15,460	16,570	17,840	20,230	5,382	1,920

IV. 電氣規格の變遷

獨人技師長の先づ與へたる規格は第 4 表の如きものであつた。

第 4 表

規 格	磁化力				鐵損	
	25 A.T.	50 A.T.	100 A.T.	300 A.T.	V15	V10
A(0.5 mm)	15,200	16,200	17,300	19,800	8.6	3.6
B(0.5 mm)	14,500	15,800	17,000	19,500	7.3	3.0
C(0.5 mm)	14,100	—	—	19,000	6.3	2.6
T(0.35 mm)	13,500	—	—	18,000	3.1	1.3

此は獨逸國の規準に準據せるものなるが本邦輸入品は英米の板多きため之に準據する必要にせまれ最も古き歴史を有せる英國サンキー會社の規格を其儘當所規格とした。

大正 14 年當所制定の分 (第 5 表)

第 5 表

規格	磁化力 ライン/cm ²				鐵損 50-w/kg 10,000 ガウス		
	25 A.T.	50 A.T.	100 A.T.	300 A.T.	0.35 mm (14 mm)	0.43 mm (17 mm)	0.50 mm (20 mm)
A	15,200	16,200	17,300	19,800	3.00	3.30	3.60
B	15,000	16,000	17,200	19,500	2.46	2.73	3.00
C	14,500	15,500	17,000	19,000	2.26	2.44	2.60
T	14,500	15,500	16,500	18,500	1.50	1.62	—
D	14,500	15,500	16,800	18,800	1.95	2.10	2.35

規格 D は昭和 2 年 8 月より之を定む。

25,000 kw 發電機用として最初に製作し爾後希望者多く其儘現存するものである。

昭和 10 年 3 月變更の新規格 (第 6 表)

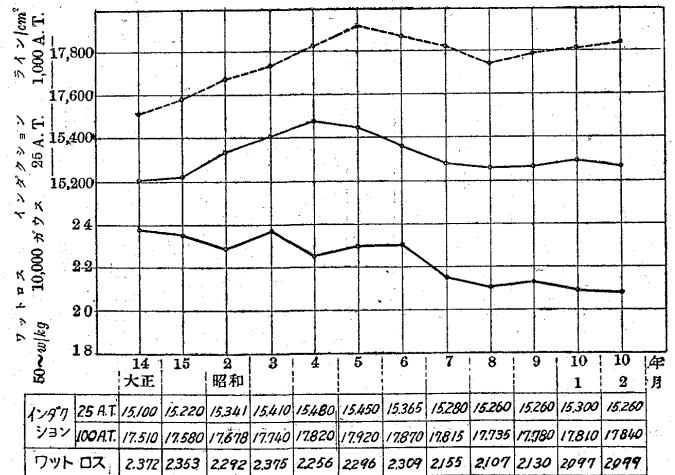
第 6 表

厚 さ mm	磁束密度 ガウス	鐵損 50-w/kg						
		A	B	C	D	DS	T	TS
0.35	10,000	2.60	2.40	2.15	1.95	1.65	1.45	1.30
0.43	10,000	2.88	2.62	2.30	2.10	2.76	1.57	—
0.50	10,000	3.20	2.92	2.46	2.35	1.88	—	—

各年度別の電氣試験成績總平均値 (第 3 圖)

第 3 圖

B 級 0.35 mm 珪素鋼板電氣試験平均値



此の表より見るも昭和 6 年より著しき鐵損の低下を見るは實に瓦斯ピックアップの爲である。瓦斯ピックアップは昭和 5 年 10 月末混合瓦斯使用爐に改造すると共に混合瓦斯洗滌を研究し 6 年 1 月より之を實施するに至り漸次良好なる結果を得た。7 年 3 月よりは全珪素鋼板に施行すべき完全なる設備を行ひスケールの防止と板面の白色美化に効果を納めつつある。

V. 歷年別珪素鋼板需要狀態

珪素鋼板價格の比較を示せば第7表の如し

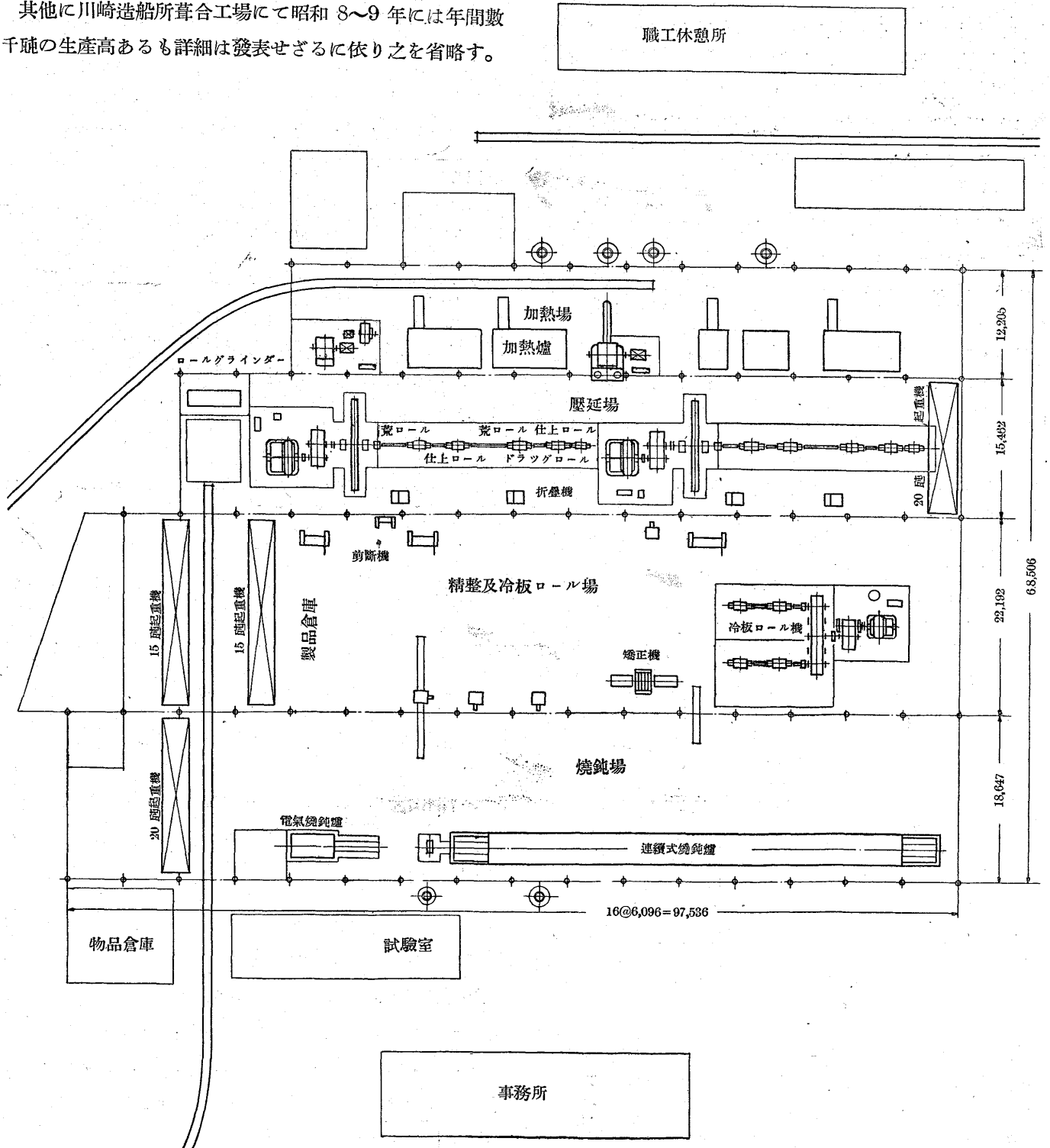
年度	輸入高	製鐵所 製産高	合計	年度	輸入高	製鐵所 製産高	合計
大正14	9,124t	72t	9,196t	昭和6	2,700t	3,244t	5,944t
昭和1	10,727	539	11,266	昭和7	2,475	8,531	11,006
昭和2	10,212	1,469	11,681	昭和8	1,285	14,551	15,836
昭和3	9,706	3,390	13,096	昭和9	1,940	16,700	18,640
昭和4	10,247	3,205	13,452	昭和10	豫定	30,000	
昭和5	7,450	5,349	12,799				

第7表

年月	Stalloy	Special	Armco	Armco	Thyssen	製鐵所	
	T	Lohys B	Trancor #2T	Elect- rical B	Dynamo B	T	B
昭和9-11	481.64	367.12	424.84	323.99	282.13	430.00	325.00
12	480.08	365.96	427.35	325.92	281.36	430.00	315.00
昭和10-1	482.09	367.60	438.38	334.62	282.51	430.00	315.00
2	481.64	367.17	434.95	331.67	—	420.00	305.00

第4圖 舊工場

其他に川崎造船所葺合工場にて昭和8~9年には年間數千噸の生産高あるも詳細は發表せざるに依り之を省略す。



VI. 設備の變更

別表の如く國內の需要額に増加し今海外へ電気機械として盛に輸出せらるるの状況に至つた。依つて需要に應じ且つ輸出助長のため優秀製品の生産を企圖して目下第5圖の如く新工場を建設中で設計建設の斬新なる點は

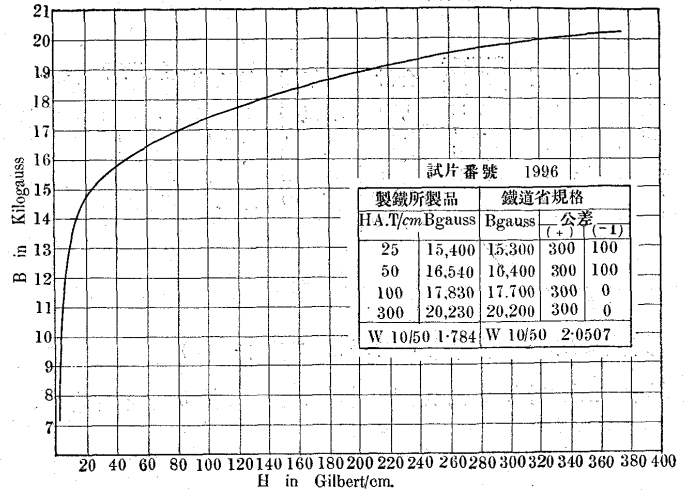
- 1) 荒ロール機を以て荒延を完了する點
- 2) 連続式バック加熱爐を以て加熱する點
- 3) 自動折疊機にて折疊をなす點
- 4) 長尺珪素鋼板の製作を企圖し居る點
- 5) 熱間矯正作業を企つる點
- 6) 酸洗作業を経由する點

年産 30,000t の能力を有し東洋市場は完全獲得する目算である。(第 4~5 圖)

VII. 鐵道省電気車主電動機用珪素鋼板試験

最近の製品の一端を例示する爲鐵道省電気車主電動機用の珪素鋼板試験成績を示せば第8表、第6圖の如し。

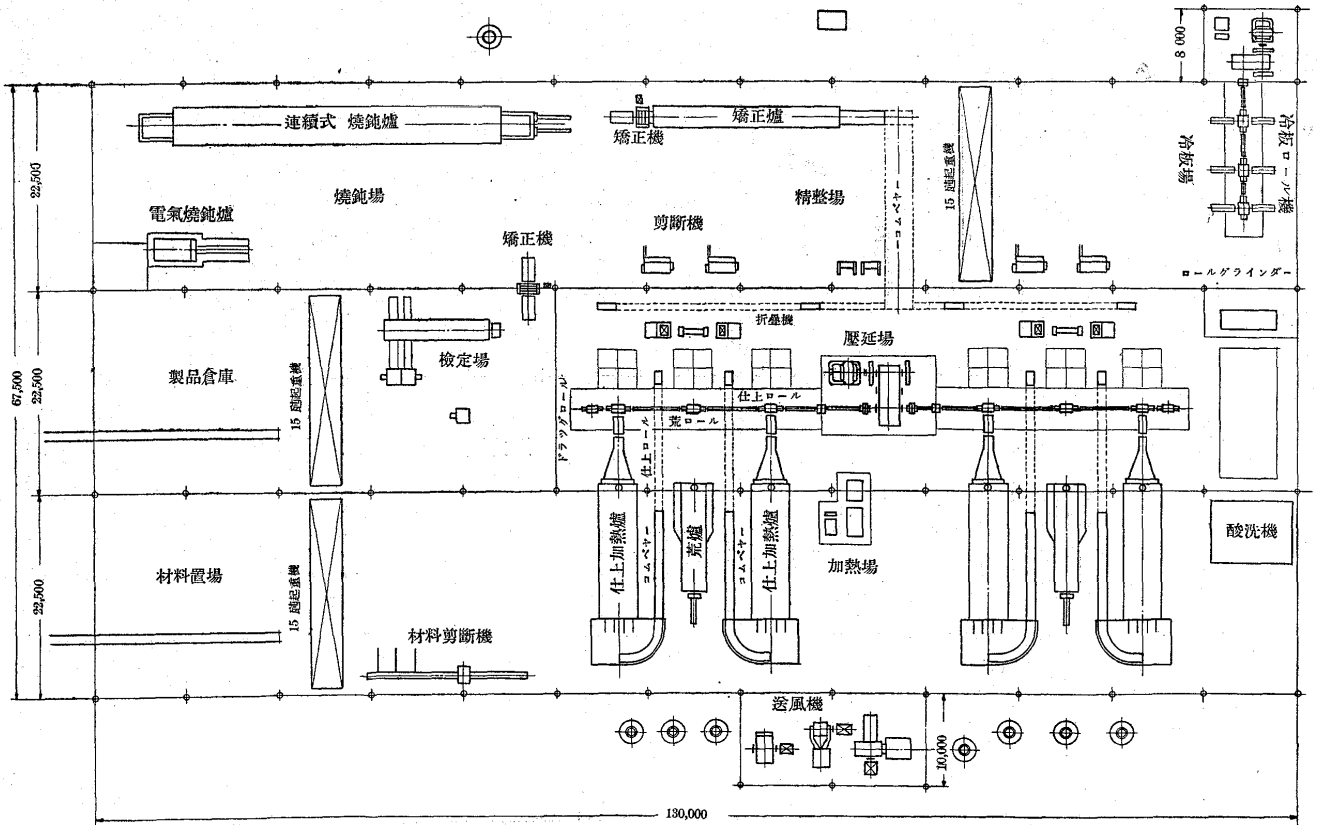
第 6 圖
鐵道省規格品 B Class 0.35mm 珪素鋼板磁化曲線



第 8 表

機械及物理試験		電 氣 試 験		厚さ不同試験 (各枚に付 25ヶ所測定)				
屈曲回数	105	鐵 損 W 10/50 1.784 W 15/50 4.962 W 10/60 2.175 W 15/60 5.932 比抵抗 micΩ 3.41	No	最大厚	最小厚	最大最小	最大-最小 規定厚%	
抗張力 kg/mm ²	38.7			1	0.360	0.335	0.025	7.1
延伸率%	20			2	0.365	0.335	0.030	8.6
エリヒセン mm	6.39			3	0.365	0.335	0.030	8.6
皮相厚 mm	0.3500			4	0.375	0.345	0.030	8.6
有効厚 mm	0.3364	5	0.380	0.335	0.045	12.9		
平滑度%	4.040	インダクションは第6圖参照						
比重	7.700							

第 5 圖 新 工 場



事務所並に試験室

階上 職工休憩所
階下 物品倉庫

第 8 圖 顯微鏡組織 ×約 150/2 縮寫

Special Lohys

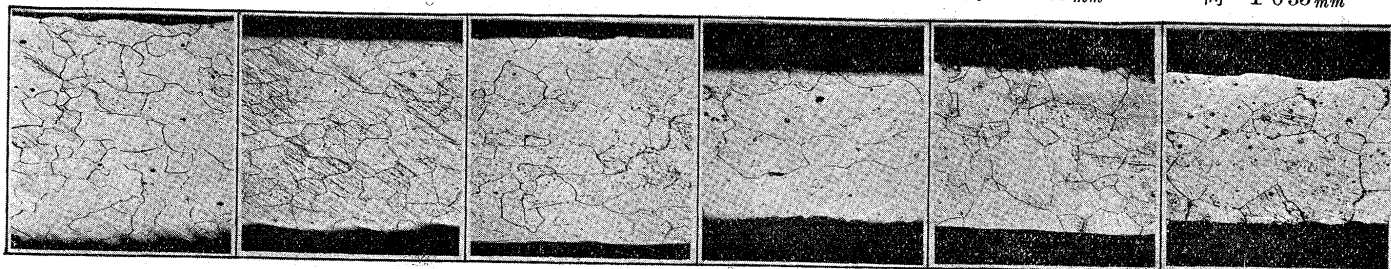
Armco

八幡製鐵所 B 0.43 mm

同 B 0.35 mm

同 D 0.35 mm

同 T 0.35 mm



上記種別に對する全面並に局部的表面の寫眞は第 7 圖の如し。

Armco に就き八幡製鐵所製品との各種比較試験を行ひたる結果を示せば第 9 表の如し。

尙各種鋼板を壓延方向に對し直角に切斷せる斷面の顯微鏡組織寫眞は第 8 圖の如し。

VIII 外國製電氣鐵板との比較試験

昭和 10 年 3 月外國製電氣鐵板 Special Lohys' 及び

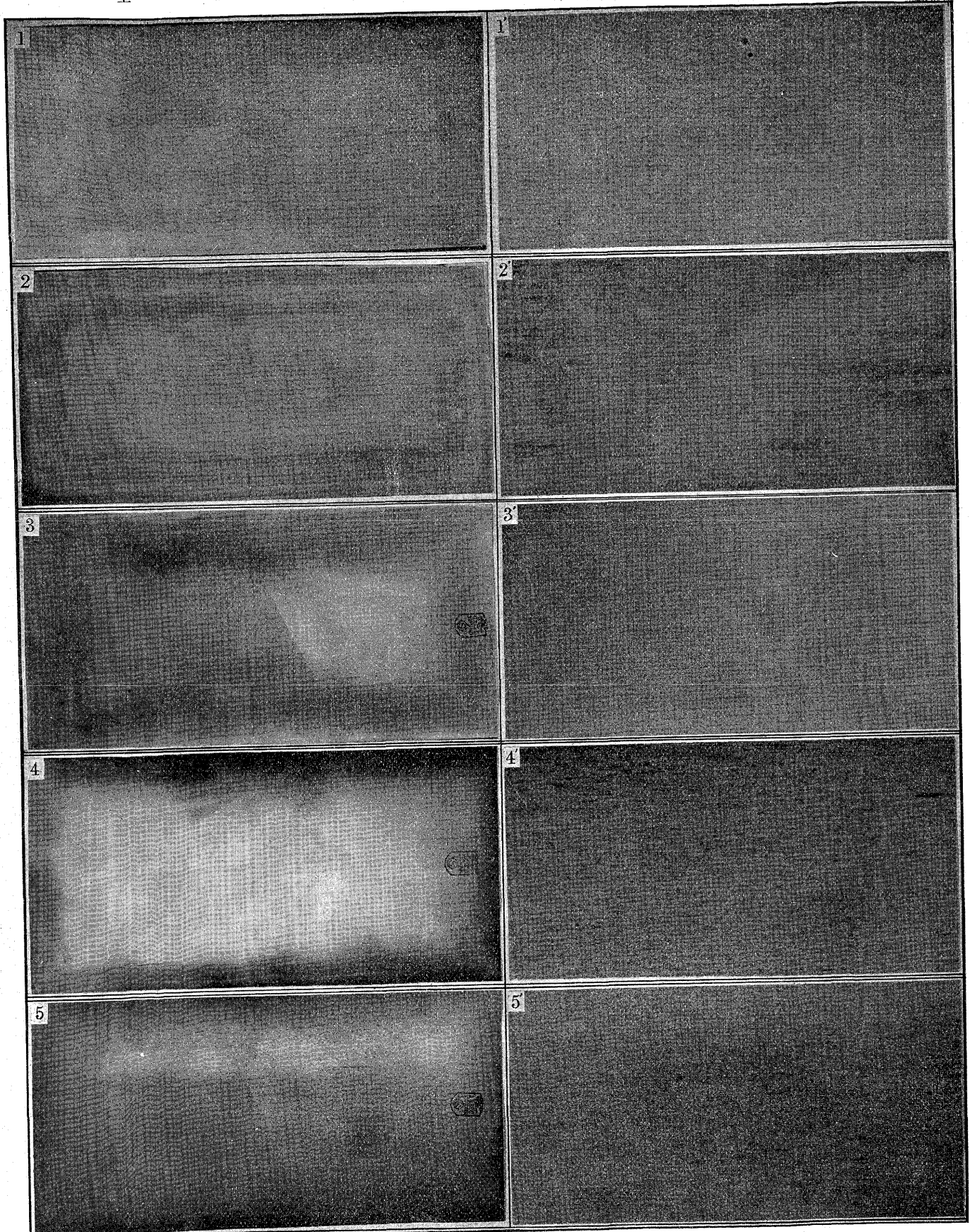
第 9 表

試驗項目	試驗板種別	外國製		八幡製鐵所製				
		18mm厚 Special Lohys	17mm厚 Armco.	0.43mm厚 B級	0.35mm厚 B級	同 D 級	同 T 級	
外觀概評				寫眞	參照			
寸法 mm	長さ	1,841	1,857	1,842	1,841	1,847	1,848	
	幅	918	918	927	925	924	924	
	厚さ	0.467	0.404	0.429	0.334	0.333	0.332	
燒鈍色入込範圍 mm		50~125	48~100	10~26	30~75	45~175	18~53	
波打度 mm	範圍平均	4~10	2.5~10	4~15	3~6.9	3~12.5	3.8~13.5	
		6.1	6.3	7.0	4.6	5.4	7.1	
化學成分 (%)	C	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	
	Si	1.145	1.428	1.266	1.329	2.917	4.192	
	Mn	0.25	0.28	0.21	0.25	0.13	0.17	
	P	0.034	0.011	0.017	0.029	0.009	0.013	
	S	0.022	0.018	0.031	0.021	0.008	0.005	
	Cu	0.06	0.04	0.23	0.20	0.18	0.21	
	Al	0.04	0.01	0.09	0.01	0.06	0.07	
機械的性質	反覆屈曲數	76.3	87.9	91.7	107.7	75.9	5.4	
	抗張力 kg/mm ²	34.9	37.6	38.6	34.8	49.0	55.5	
	延伸率 %	22.6	25.8	28.8	18.0	17.6	3.4	
	エリヒセン mm	7.22	6.74	7.04	5.78	5.97	2.23	
電氣試驗	感應度	25 A.T.	15,410	15,610	15,580	15,680	14,990	14,680
		50 A.T.	16,570	19,720	16,680	16,840	16,080	15,760
		100 A.T.	17,830	17,980	17,930	18,100	17,380	17,110
		300 A.T.	20,230	20,400	20,300	20,420	19,840	19,470
	鐵損	10,000 gauss	6.516	5.417	5.700	5.450	4.490	3.270
		5,000 gauss	2.438	2.366	2.297	2.200	1.762	2.297
比抵抗		27.09	30.68	29.44	28.20	43.52	57.95	
皮相有效平滑	厚 mm	0.5021	0.4369	0.4432	0.3400	0.3420	0.3505	
	厚 mm	0.4805	0.4109	0.4228	0.3234	0.3246	0.3260	
比重		4.5	5.6	4.8	5.1	4.8	7.3	
組織		7.734	7.741	7.771	7.780	7.655	7.526	

寫眞參照

第7圖 外觀寫眞

全 面 (記入倍率のものを3/5に縮寫) 局 部



1 Special Lohy's $\times 1/12$
2 Armco

3 八幡製鐵所 D 0.35 mm
4 // B 0.35 mm
5 // T 0.35 mm

1' 1の實物大 全面的にスケールあり
2' スケール痕部多し

3' 表面不良部
4' 表面不良部
5' 表面不良部