

## 含銅鑄鐵の研究

(日本鐵鋼協會第26回講演大會 講演 昭 16.10)

黒田 正夫\*・石黒 一彦\*\*・大西 正次\*\*

## STUDY OF THE COPPER-BEARING CAST IRON

Masao Kuroda, Kogakuhakushi, Kazuhiko Isiguro &amp; Masatugu Onisi

**SYNOPSIS:**—The authors studied on physical and chemical properties of cast irons with 0.2~4.9% Cu which have been made by alloying ferro-copper. With more than 1% Cu, the graphite of the cast iron becomes refined and the combined carbon increases, dendrites develop, and the pearlite changes into sorbite. The cast iron from cupolas superior to that from electric furnaces in its mechanical properties. In either case, the increase of the Cu content accompanies the rise of hardness. Maxima of tensile, transverse and compressive strengths are attained at 0.5% Cu, but excess of the Cu decreases the strength. Impact value somewhat lowers with the increase of the Cu, while figures pertaining to bending and compression hardly suffer any change. Results of the dry-method wear-resistance test show no visible change, but the wet-method wear-resistance becomes abruptly worse with more than 1% Cu. The cast iron with 0.5% Cu is sufficiently resistant to any of hydrochloric, sulphuric and nitric acid. In every respect of properties, the 0.5% Cu cast iron develops the most excellent properties, and, above all, strength 10% more than the common cast iron and better corrosion resistance. When compared with Nickel-chromium cast irons, the Cu-bearing cast iron reveals lower hardness, higher strength, equal wear resistance and superior corrosion resistance. Copper cast irons of the present grade are suggested to be used as substitute for Nickel-chromium cast irons, indicating a tendency of high grade cast irons developed during the war.

## 摘 要

鑄鐵鑄物の機械的性質を改善し加工能率を高める爲に従來ニツケル或はニツケル及びクロムを添加して居たが、現在の時局下に於てニツケルの入手は極めて困難となつたので、その代用に銅を用ひて鑄鐵の性質を改善しようとした。普通鑄鐵に約5%迄銅を添加して鑄造性、顯微鏡組織、機械的性質、耐磨耗性、耐蝕性等に及ぼす影響を研究し、Cu 0.5% に於て最も優秀な性質を得られる事が分つた。

## I. 試 料

試料は3種類の鑄鐵を用ひた。その一つは第1表に示すもので流動性、黒鉛化、耐蝕試験の一部に用ひ、この普通鑄鐵(3.2% T.C, 1.5% Si, 0.6% Mn)にフェロコツパーを添加し、銅の量が0.15~2.08% に變化した9種類の試料を得た。その成分を第2表に示す。フェロコツパーは特殊鋼業工業所發賣の國光フェロコツパーを使用した。

第1表 原材料化學成分(%)

符號	TC	Si	Mn	P	S	Cu
鑄鐵原材 CFC-0 (キユボラ鑄鐵)	3.14	1.41	0.70	0.182	0.054	—
フェロコツパー	1.3~2.1	—	—	—	—	32.5~26.5

\* 理化學研究所, 三菱重工業株式会社横濱船渠

\*\* 三菱重工業株式会社横濱船渠

第2表 CFC 系試料化學成分(%)

符 號	TC	Si	Mn	P	S	Cu
CFC-1.5	3.33	1.47	0.70	0.146	0.084	0.15
2	3.14	1.48	0.67	0.156	0.095	0.24
3	3.17	1.38	0.60	0.152	0.096	0.31
5	3.23	1.84	0.68	0.190	0.081	0.52
6	3.15	1.52	0.50	0.152	0.084	0.65
9	3.11	1.66	0.68	0.202	0.102	0.93
10	3.18	1.55	0.71	0.180	0.088	1.04
15	3.03	1.42	0.59	0.198	0.088	1.56
20	2.94	1.63	0.56	0.178	0.088	2.08

次に機械的性質、耐蝕性等を見る爲に第3表に示す2種の鑄鐵を用ひた。これは原材が電氣爐で熔解したものとキユボラで熔解したものとで操業法による性質の違いを比較しようとした。化學成分は電氣爐鑄鐵は硫黄が極めて少い他兩者共同様である。

第3表 原材料化學成分(%)

符號	TC	GC	CC	Si	Mn	P	S	Cu	
電氣爐鑄鐵	EO	3.14	2.26	0.88	1.48	0.72	0.180	0.008	0.196
キユボラ鑄鐵	FO	3.12	2.24	0.88	1.50	0.66	0.154	0.058	0.190
フェロコツパー	—	—	—	—	—	—	—	—	34~37

以上の原材は先づ CFC と同様に各々の鑄鐵を自然通風のルツボ爐で再熔解しこれにフェロコツパーを配合して約5%迄銅を添加した。鑄込直前には湯を良く攪拌し出来るだけ凝離を防いだ。

熔解時間	3~4 <sup>h</sup>
鑄型	普通砂型 70~120°C
鑄込	1,350~1,380°C

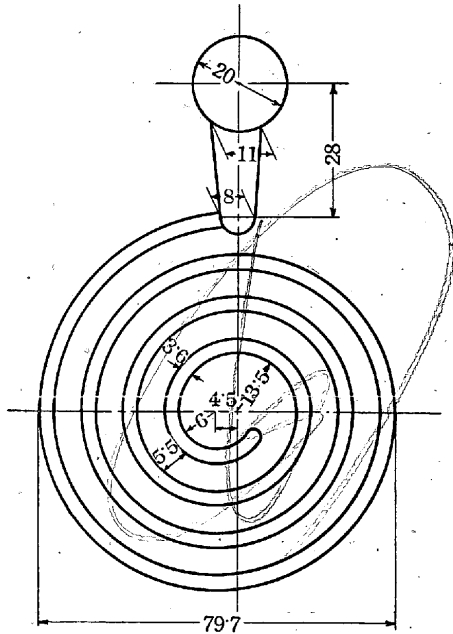
試験片種類

丸型 直径 30mm, 長さ 380mm, 2 個, 抗張及び抗屈試験用  
 " " 37, 380 2 個, 抗折試験用  
 角型 60×60, 350 3 個, 衝撃, 磨耗, 腐蝕試験用

II. 鑄鐵の流動性に及ぼす影響

銅は鑄鐵の流動性に對して影響を及ぼさぬといふ説<sup>1)</sup>もあるし Cu 0.25~2.0% に於て流動性を増すといふ説<sup>2)3)</sup>もある。

以上の試料を溶解し第1圖の如き砂型に湯流しをし、湯口より湯の止つた處までに流れた湯の角度の大小を以て流動性を比較した。その結果は第4表に示すやうに Cu 0.5% のものが最も流動性に富み、それ以上銅の多いものは却て湯流れ不良になり Cu 1.5% にて最小値を示す事があった。



第 1 圖 湯流れ試験片(×0.6)

第 4 表 湯流れ試験結果

符 號	含銅量%	湯流れ角度	符 號	含銅量%	湯流れ角度
CFC-0	0	146°	CFC-6	0.65	286°
1.5	0.15	350	9	0.93	307
2	0.24	300	10	1.04	260
3	0.31	323	15	1.56	164
5	0.52	407	20	2.08	270

備考 ルツボ爐溶解 自然通風 鑄込 1,360°C 砂型 常温

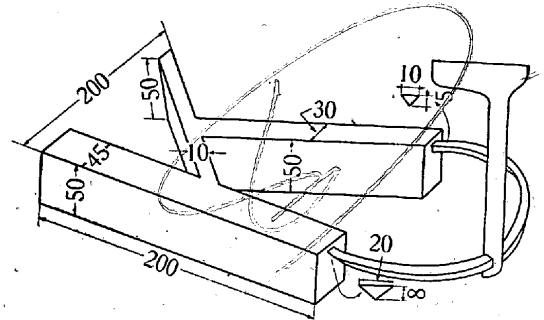
III. 鑄鐵の黒鉛化に及ぼす銅の影響

銅は鑄鐵に對して黒鉛化を促進し<sup>4)5)6)7)8)9)</sup>, チル層を淺くする効果がある<sup>3)10)</sup>と云ふ説が多いが、銅は黒鉛化に影響せず<sup>11)</sup>, 或は銅の影響は珪素の爲に隠され Cu 1.6% 位で現れないと云ふ説<sup>1)</sup>もある。逆に銅は黒鉛化を妨げると云ふ説<sup>12)</sup>もあり仲々一定でない。

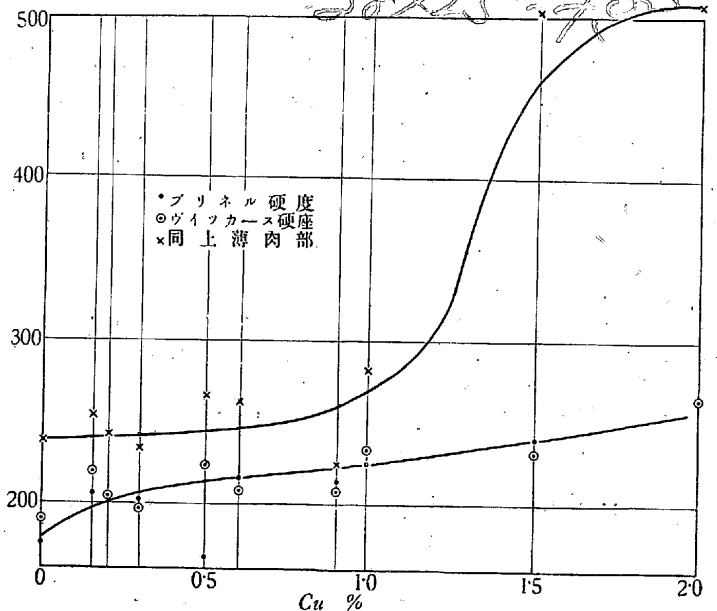
これを確かめる爲に肉厚の異なる試片を銅量を變へて作り硬度に及ぼす影響並に黒鉛化の効果を分析値から比較して見た。

(1) 肉厚と硬度に及ぼす影響

試料 CFC を用ひて第 2 圖のやうな K 型試験片を作り、肉厚を 50×45, 30×45, 10×45mm の 3 種に變へ、各表面硬度を測つて肉厚とチルの關係を比較し、又斷面に就いて中心と表面との硬度差を測り中心の軟化を比較した。



第 2 圖 K 片試験鑄込方法



第 3 圖 含銅量と表面硬度の關係

表面の硬度は第 3 圖に示す。肉厚 50mm も 30mm も硬度は殆ど同様で銅の多い物程硬いだけであるが、肉厚 10mm の方は Cu 1.5% 以上になると急激に硬化しチルの現象を呈し破面を見ると白鉄化して居る。

斷面の硬度は 50×45mm のみに就て行つた。斷面對角線上を 10mm おきに硬度を測定し、その外周 4ヶ所の平均値と中心部 5ヶ所の平均値を比較すると第 5 表のやうになる。

矢張り銅が増すに従ひ外周も中心も硬度高くなり、その比は Cu 0.5% に極大が有る他特に著しい現象は見受けられず、中心部の軟化を防ぐ爲にはこの程度の寸法の物では銅の影響は殆ど認められない。

第5表 K型試験片断面硬度 (肉厚 50×45mm)

符 號	Cu %	外周平均硬度 Hv 30kg	中心部平均硬度 Hv 30kg	中心硬度 外周硬度
CFC-0	0—	207.5	194.5	0.937
1.5	0.15	220.2	206.4	0.941
2	0.24	212.0	197.6	0.932
3	0.31	197.5	188.0	0.952
5	0.52	214.0	204.8	0.957
6	0.65	219.2	205.4	0.937
9	0.93	208.2	197.6	0.949
10	1.04	229.2	210.4	0.918
15	1.56	240.7	221.4	0.919
20	2.08	256.7	245.6	0.957

## (2) 黒鉛化に及ぼす影響

試料 EO 及び FO より作った含銅電気爐鑄鐵並に含銅  
キューボラ鑄鐵の化學成分を第 6 表, 第 7 表に示す。

凝離の程度は Cu について 0.5% に過ぎず比較的少量  
の湯(10~20kg)では注意して注湯するとこの程度に止めら  
れると思ふ。

銅の増加に伴ひマンガン, 磷, 硫黄は殆ど變化しないが  
全炭素が 3.2% より次第に減少し, Cu 4.7% に於て T.C  
2.7% になる。珪素も同様に 1.5% より 1.1% まで低下す  
る。従つて銅の添加に従つて黒鉛化は抑制され化合炭素が

第6表 電気爐含銅鑄鐵化學成分 (%)

符 號	T.C	G.C	C.C	Cu	Si	Mn	P	S	Cu+Si
E0	3.14	2.26	0.88	0.20	1.48	0.72	0.180	0.008	1.68*
E1 丸	3.19	2.31	0.88	0.19	1.42	0.93	0.200	0.016	1.61
" 角	3.17	—	—	0.20	1.40	0.65	0.202	0.016	1.60
E2 丸	3.07	2.29	0.78	0.47	1.36	0.64	0.206	0.034	1.83
E3 丸	3.14	2.18	0.96	0.57	1.40	0.66	0.200	0.019	1.97
" 角	3.13	—	—	0.57	1.40	0.84	0.202	0.020	1.97
E4 丸	3.00	2.17	0.83	0.91 0.88	1.36	0.66	0.206	0.012	2.26
E5 丸	2.94	2.25	0.69	0.99	1.32	0.61	0.204	0.014	2.31
E6 丸	3.17	2.32	0.85	1.15	1.40	0.71	0.204	0.022	2.55
" 角	3.14	—	—	1.15	1.40	0.71	0.206	0.022	2.55
E7 丸	3.17	2.13	1.04	1.28	1.32	0.73	0.202	0.024	2.60
" 角	3.13	2.13	1.00	1.46	1.31	0.69	0.196	0.022	2.77
E8 丸	3.02	2.24	0.78	1.63	1.40	0.65	0.206	0.014	3.03
" 角	3.00	2.28	0.72	1.79	1.38	0.63	0.204	0.016	3.17
E9 丸	2.96	1.90	1.06	2.01	1.39	0.79	0.200	0.014	3.40
" 角	2.93	2.08	0.85	1.88	1.37	0.67	0.198	0.014	3.25
E10丸	2.97	2.09	0.88	2.05	1.28	0.69	0.192	0.014	3.33
" 角	2.92	—	—	2.09	1.28	0.65	0.190	0.016	3.37
E11丸	2.99	2.00	0.99	2.54	1.29	0.69	0.182	0.018	3.83
" 角	2.93	—	—	2.36	1.31	0.65	0.182	0.018	3.67
E12丸	2.88	2.06	0.82	2.95	1.35	0.62	0.186	0.016	4.30
" 角	2.85	1.95	0.90	2.53	1.28	0.64	0.182	0.016	3.81
E13丸	2.92	2.01	0.91	3.21	1.34	0.64	0.194	0.016	4.55
" 角	2.86	—	—	3.29	1.30	0.61	0.186	0.016	4.59
E14丸	2.86	1.99	0.87	3.54	1.33	0.61	0.190	0.016	4.87
" 角	2.86	—	—	3.64	1.32	0.62	0.176	0.016	4.96
E15丸	2.85	1.98	0.87	4.04	1.24	0.61	0.174	0.014	5.28
" 角	2.84	—	—	3.79	1.21	0.63	0.178	0.018	5.00
E16丸	2.74	2.08	0.66	4.15	1.26	0.60	0.194	0.020	5.41
" 角	2.74	1.91	0.83	4.69	1.24	0.63	0.194	0.018	5.95

備考 \* 原材

第7表 キューボラ含銅鑄鐵化學成分 (%)

符 號	T.C	G.C	C.C	Cu	Si	Mn	P	S	Cu+Si
F0	3.12	2.14	0.98	0.19	1.50	0.66	0.154	0.058	1.69*
F1 丸	3.06	2.14	0.92	0.22	1.31	0.66	0.156	0.062	1.53
" 角	—	—	—	0.22	—	—	—	—	—
F2 丸	2.71	2.06	0.65	0.42	1.27	0.57	0.156	0.066	1.69
" 角	—	—	—	0.43	—	—	—	—	—
F3 丸	3.04	2.00	1.04	0.71	1.27	0.61	0.162	0.064	1.98
" 角	—	—	—	0.71	—	—	—	—	—
F4 丸	3.00	1.92	1.08	0.75	1.26	0.58	0.154	0.064	2.01
" 角	—	—	—	0.80	—	—	—	—	—
F5 丸	3.00	1.98	1.02	0.94	1.26	0.57	0.154	0.068	2.20
" 角	—	—	—	0.96	—	—	—	—	—
F6 丸	3.00	2.03	0.97	1.12	1.26	0.62	0.162	0.070	2.38
" 角	—	—	—	1.14	—	—	—	—	—
F7 丸	3.01	2.10	0.91	1.56	1.31	0.63	0.160	0.070	2.87
" 角	—	—	—	1.54	—	—	—	—	—
F8 丸	2.86	1.99	0.87	1.83	1.25	0.59	0.150	0.068	3.08
" 角	—	—	—	1.77	—	—	—	—	—
F9 丸	2.92	1.90	1.02	2.25	1.23	0.80	0.156	0.070	3.48
" 角	—	—	—	2.20	—	—	—	—	—
F10丸	2.78	1.97	0.81	2.73	1.19	0.60	0.150	0.066	3.92
" 角	—	—	—	2.78	—	—	—	—	—
F11丸	2.71	1.54	1.17	3.45	1.18	0.60	0.144	0.060	4.63
" 角	—	—	—	3.42	—	—	—	—	—
F12丸	2.71	1.64	1.07	4.66	1.11	0.53	0.138	0.060	5.77
" 角	2.72	1.64	1.08	4.28	1.12	0.60	0.143	0.062	5.40
F13丸	2.65	1.40	1.25	4.73	1.05	0.52	0.150	0.062	5.78
" 角	2.68	1.55	1.13	4.91	1.08	0.50	0.150	0.054	5.99

備考 \* 原材

増加してゐる。この事實は後述の顯微鏡寫眞を見ても黒鉛  
の減少が認められる。又抗張及び抗折試験用丸棒では硬化  
てし加工の出来ない物も生じた。

この實驗では見掛上銅が鑄鐵の黒鉛化を妨げたやうに見  
受けられるが全炭素量が減少してゐるからあながちこの結  
果からして銅が鑄鐵の黒鉛化を妨げるとは言ひ切れない  
が、とにかく銅は強い黒鉛化促進元素であるとは考へられ  
ない。

## IV. 顯微鏡組織に及ぼす影響

鑄鐵に銅が入ると黒鉛は一般に微細化される<sup>1)4)</sup>と言は  
れてゐるが、反對に片狀黒鉛を大きくするといふ説<sup>5)</sup>もあ  
る。又鐵に対する銅の溶解度は $\alpha$ 鐵に於ては 400°C にて  
0.4%, 833°C にて約 3.5%,  $\gamma$ 鐵に對しては 833°C に  
て 4.5%, 1,094°C にて 8.5% とされてゐる<sup>18)</sup>。

電気爐含銅鑄鐵 EO 系の黒鉛分布状態 (研磨せる儘) 並  
に組織 (ピクリン酸腐蝕) を寫眞 No. 1~9 に示す。No.  
1 は原材, No. 2 はこれをルツボ爐にて再溶解したもの,  
No. 3 以下は銅を添加したものである。

キューボラ含銅鑄鐵も同様に No. 10~15<sub>2</sub>に示し, No.

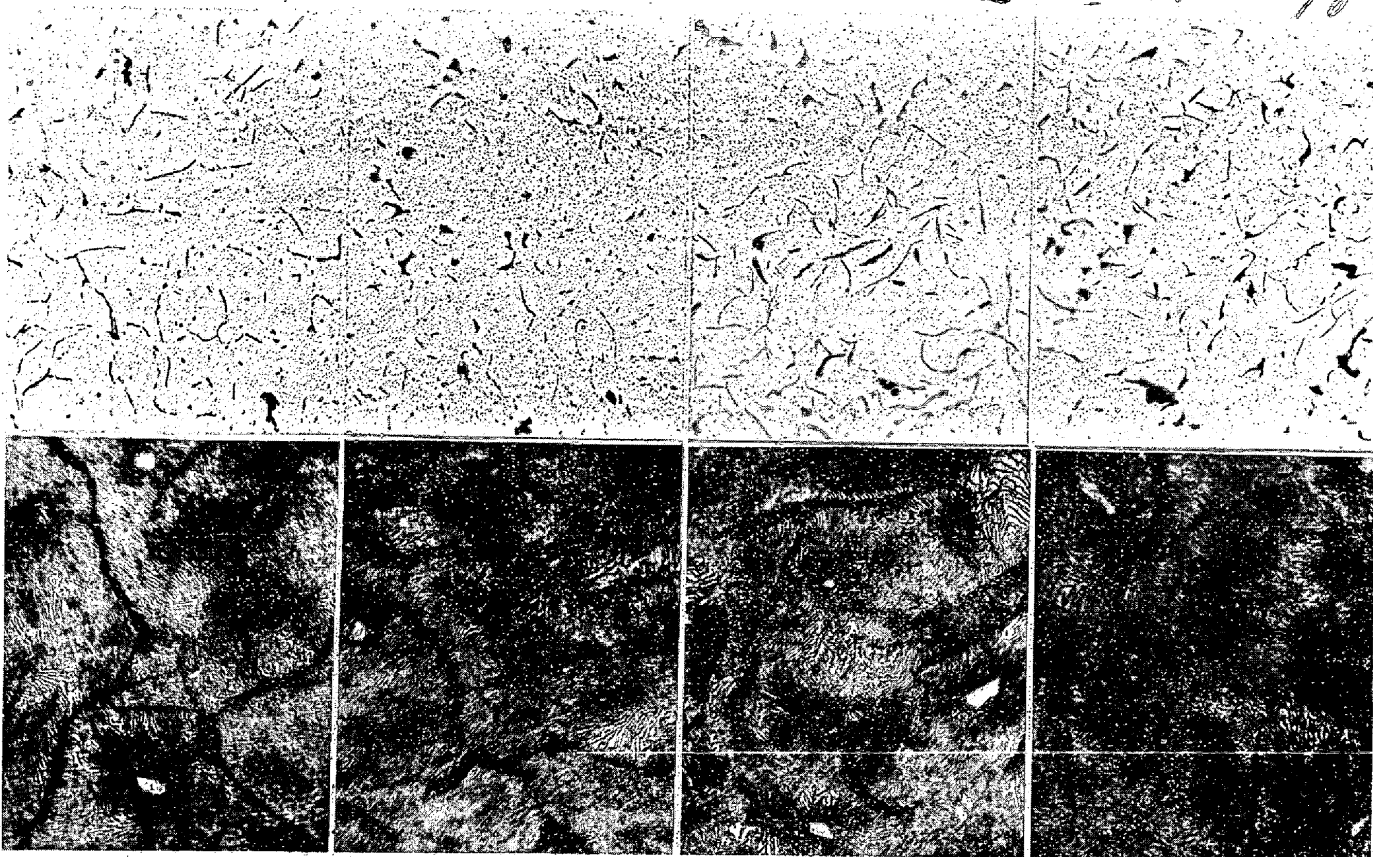
No. 1 E0 Cu 0.20

No. 2 E1 (E0 再溶解)

No. 3 E2 Cu 0.47

No. 4 E4 Cu 0.90

*3456-1870*



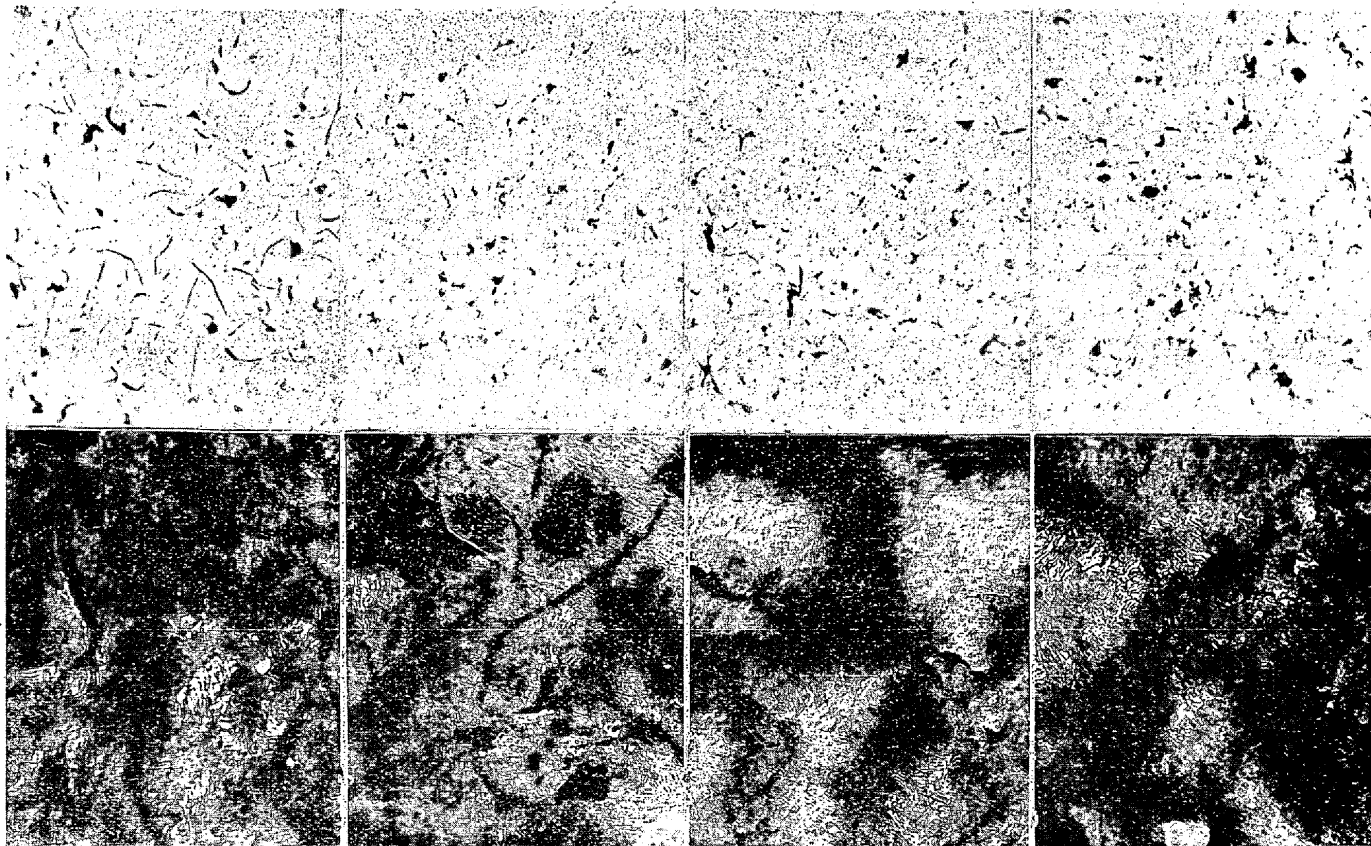
No. 5 E7 Cu 1.37

No. 6 E10 Cu 2.07

No. 7 E12 Cu 2.74

No. 8 E14 Cu 3.60

*3456-1800*

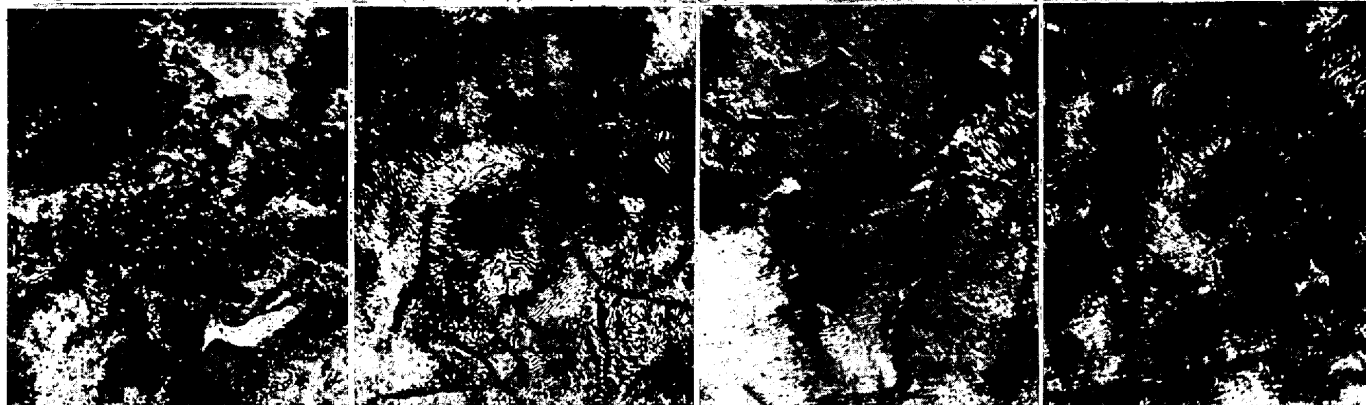


No. 9 E16 Cu 4.42

No. 10 F0 Cu 0.19

No. 11 F1 (F0 再溶解)

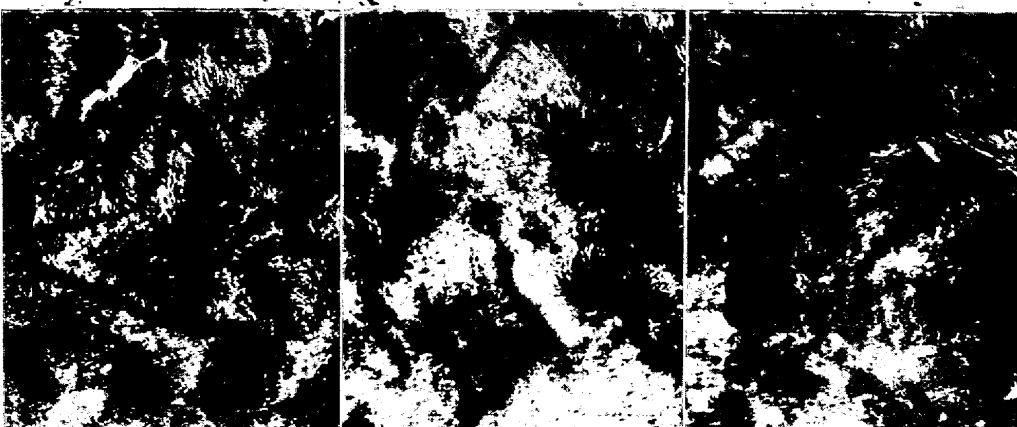
No. 12 F3 Cu 0.44



No. 13 F5 Cu 0.95

No. 14 F7 Cu 1.55

No. 15 F9 Cu 2.23



何れに就ても鑄鐵に就ては銅を添加すると黒鉛が稍減少し微細化され粒狀となる。同時に樹枝狀結晶が發達し易くなりパーライトはソルバイト的になる。この現象は Cu 1%以上から次第に明瞭になり、2%以上に於て殊に著しくなる。

銅を4.9%加へたものに就ても銅の微粒は析出されず文献<sup>10)</sup>と同様の結果を示した。かくの如き鑄造状態に於ては過剰の銅はα鐵中に過飽和に溶解してゐるものと考へられる。

V. 機械的性質に及ぼす銅の影響

10 は原材, No. 11 は再溶解, No. 12 以下は銅添加したものである。

鑄鐵の機械的性質に関する銅の影響は銅の増加に従ひ硬度を増加し抗張力を増す<sup>1)3)4)6)8)10)11)13)</sup>と云はれてゐるが

その限界は一定せず、時には1.3%の銅添加で強度を減少するといふ説<sup>5)</sup>もある。

今回の実験に於てはEO及びFO系の試料に就て比較した。試験片鑄込方法は第4圖に、試験片寸法は第5圖に示す。各々の成分に就き直径30mm丸棒2本より抗張試験片2本宛と抗壓試験片2本宛を取り、直径37mm丸棒2本より抗折試験片2本宛取り静力學的試験を行つた。試験片採取方向は何れも長さの方向とした。抗折試験片については又硬度も測定した。

又角型試験片よりは長さの方向にアイゾット型衝撃試験片を2本宛、シャルピー型衝撃試験片を縦、横、長さの3方向より各2本宛採取して衝撃試験を行つた。

此等の結果は第6圖に示される。これを要約すると次のやうになる。

かゝる現象は見られず、この原因は操業中のガスの影響等では無いかと考へられる。

## 2. 抗張力試験

銅を添加すると抗張力は次第に増加し、Cu 0.4~0.6%に於て最大値を取り電氣爐鑄鐵にて約32kg/mm<sup>2</sup>、キヌボラ鑄鐵にて36kg/mm<sup>2</sup>のものが得られる。

過剰の銅は強度に悪影響を及ぼすやうでCu 1%以上になると強度は銅を添加しない物より弱くなる。

## 3. 抗壓試験

抗壓力は抗張力と同様でCu 0.4~0.6%に於て最大を示し、電氣爐鑄鐵にて113kg/mm<sup>2</sup>、キヌボラ鑄鐵にて125kg/mm<sup>2</sup>に達し、1.2%以上の銅により原材よりも弱くなる。

壓縮量は銅によりては殆ど影響されず、Cu 0.5%以上では稍減少する傾向がある。

## 4. 抗折試験

抗折力もCu 0.4~0.5%に於て最大値を示し、過剰の銅により再び減少する。

撓みは原材が最も大で、銅が加はると却つて減少する。

## 5. 硬度(ブリネル)試験

硬度は銅の増加に従ひ次第に増加する傾向を示し諸種の文獻と一致する。

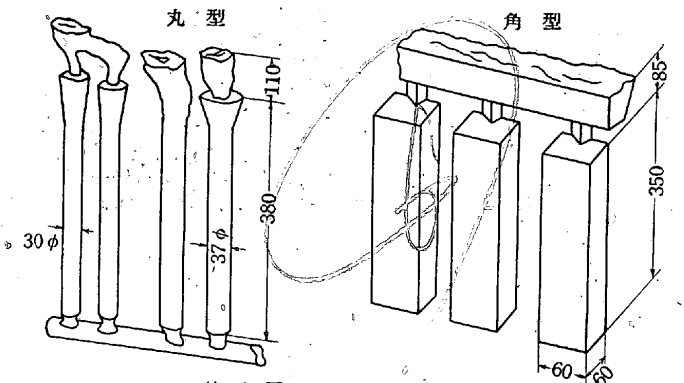
## 6. 衝撃試験

アイゾット衝撃値は銅の増加と共に次第に減少する傾向を示す。シャルピー衝撃値はアイゾットに比べて稍まばらであるが概して同様の傾向を示す。

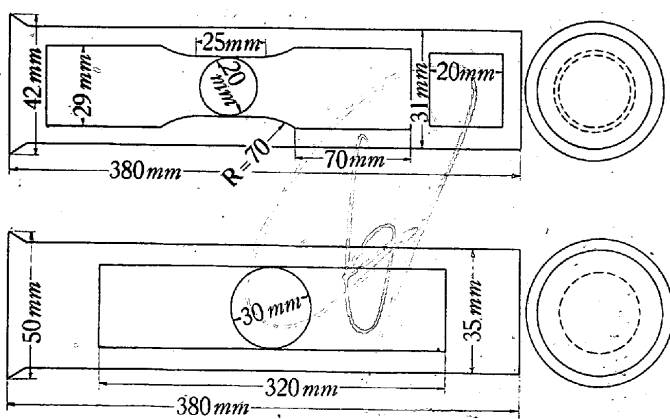
以上機械的性質は各種文獻とは多少異りCu 0.4~0.6%に於て最大値を示し過剰の銅は強度を低下する。此事は顯微鏡組織と比較して興味深く、過剰の銅により黒鉛微細化すると雖も同時に樹枝狀結晶發達し炭素量も變化して強度を害するものと考へられる。硬度のみは銅添加量に比例し

第8表 合銅鑄鐵強度増加率(Cu 0.4~0.6%)

増 加 率 (原材を100とす)	電 氣 爐 鑄 鐵	キ ヌ ボ ラ 鑄 鐵
抗 張 力	7~10	3
抗 壓 力	9	5
抗 折 力	11	0.7
硬 度	8	5



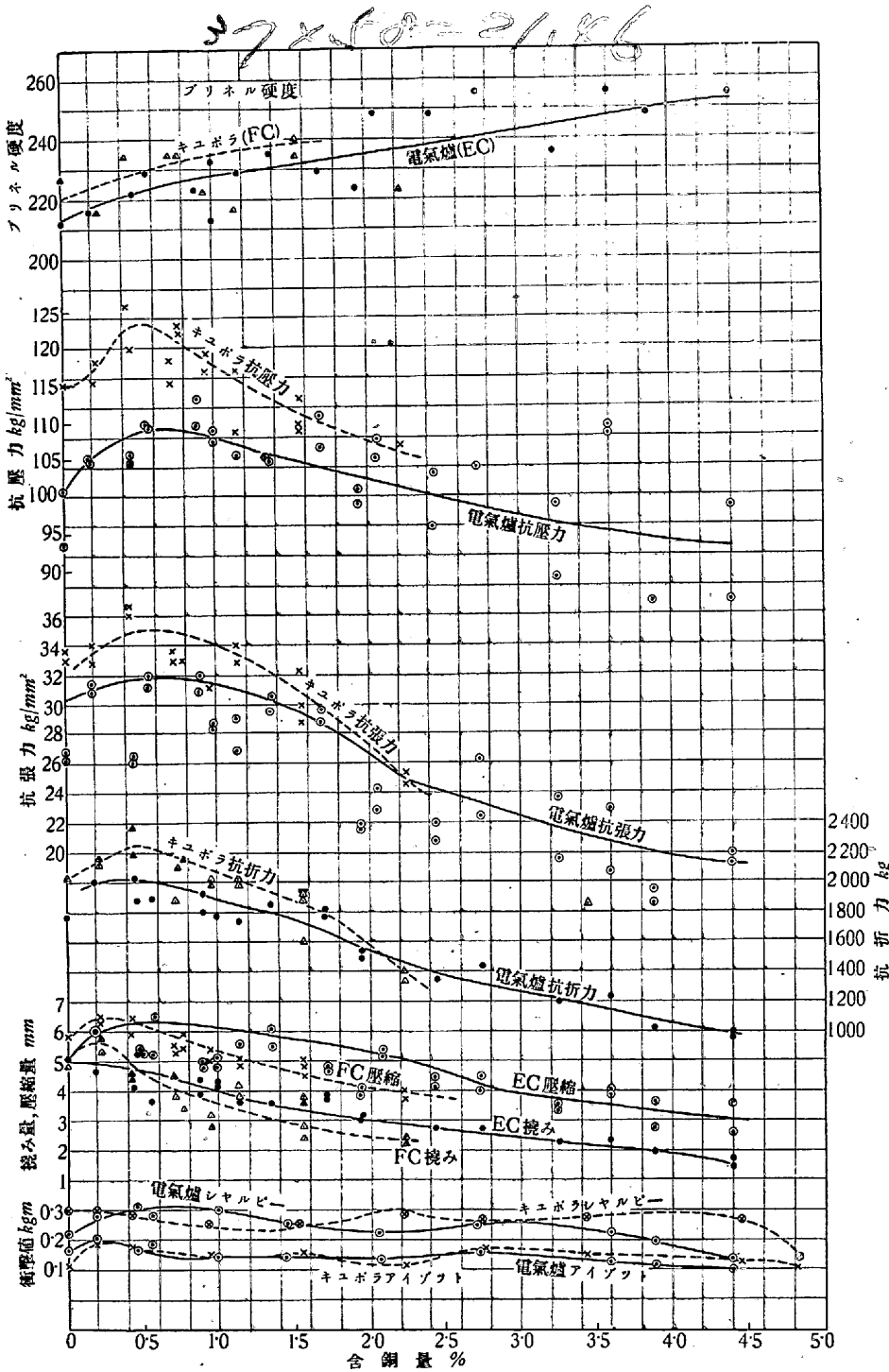
第4圖 試験片鑄込方法



第5圖 試験片寸法 (抗張、抗壓、抗折)

## 1. 電氣爐鑄鐵とキヌボラ鑄鐵

一般に機械的性質はキヌボラ鑄鐵が優つてゐる。電氣爐鑄鐵は硫黄が少ないに拘らず強度弱く、鑄造直後の母材は殊に弱く、これをルツボ爐で再熔解すると強度が抗張力で19%、抗折力で14%も強くなる。キヌボラの方では



第6圖 含銅鑄鐵の機械的性質

て次第に増加し、衝撃値は銅の増加に従つて減少する。これは黒鉛化の項で述べたやうに銅の増加と共にチルが促進された爲と考へられる。

原材に対する強度増加率を第8表に掲げる。

### VI. 耐磨耗性に及ぼす銅の影響

磨耗試験は3種の試料CFC系、EO系、FO系の各々に就いて行つた。試験機及び摩擦條件は次の通りとした。

試験機 横濱船渠製 横型送り磨耗試験機

能力 最大荷重 36kg

(50kg/cm<sup>2</sup>)

回転數 1,200rev/min

(3m/sec)

試験片 静止側及び回転側を同一材質にて作製し磨耗せしめる。表面は何れも研磨紙000迄研磨す。

静止側(符號L)

外徑 31.6mm

内徑 25.6mm 輪狀

回転側(符號R)

外徑 31.6mm

内徑 25.6mm

幅 6mm

磨耗條件

1) 乾式

摩擦壓力 10kg/cm<sup>2</sup>, 摩擦時間 5h 連続, 潤滑剤使用せず, 壓縮空氣にて磨耗生成物除去

2) 濕式

摩擦壓力 50kg/cm<sup>2</sup>, 30kg/cm<sup>2</sup> 摩擦時間 10h, 5h 連続, 摩擦面に清水(横濱水道水)を 14l/h の割合にて注入す。

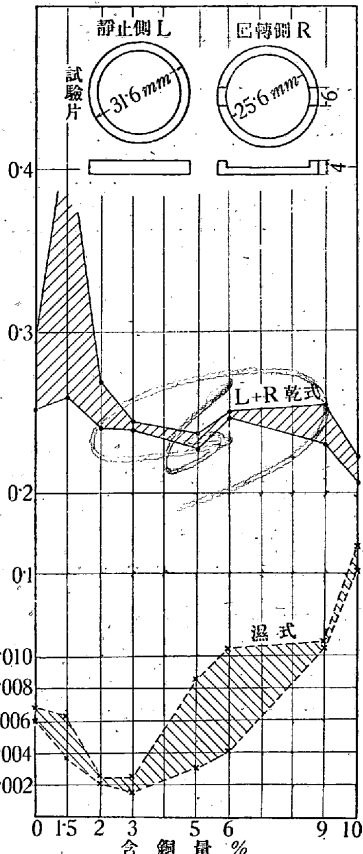
磨耗量の測定には重量減少並に比重より換算せる磨耗厚さを以てした。

試験結果は第7~9圖に示す。

第7圖はCFC系の試験片の銅量と總磨耗量との關係で、乾式試験では結果に大差は無いが、濕式試験ではCu 0.3%に最小値を示し1%以上銅が入ると急に磨耗し始める。第8圖の磨耗厚さについても同様の事が云はれる。

第9圖はEO系、FO系の鑄鐵とニッケルクロム鑄鐵とについての乾式磨耗の實驗結果を示すもので、Cu 4.5%以上の點を除いては磨耗量も磨耗厚さも大差なく、3者共同一程度である。摩擦係數に就ても略同じ程度であり、この種の試験では格別に差違を示さない。

第 10 圖は  
 濕式磨耗の結果である。乾  
 式と比較して  
 摩擦係数は 3  
 %位に過ぎず  
 磨耗量も同様  
 に減少してゐ  
 る。銅が増加  
 するに従ひ  
 Cu 1% 迄は  
 磨耗に影響を  
 及ぼさない  
 が、それ以上  
 になると急激  
 に磨耗量、磨  
 耗厚さ増加  
 し、摩擦係数  
 も増大する。



第 7 圖 總磨耗量と含銅量の關係

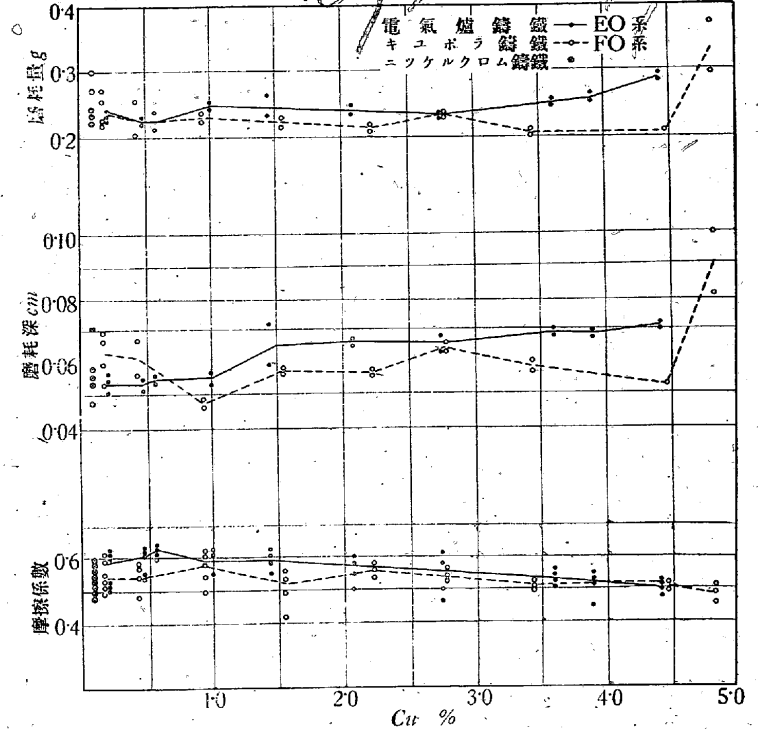
Cu 2% にな  
 ると更に磨耗状態悪き爲荷重並に磨耗時間を  
 減少せしめて試験を施行するの止むなきに至つ  
 た。

Cu 1% を限度として濕式磨耗が急に不良にな  
 る原因は顯微鏡組織では認められなかつたが銅が  
 固溶限度を越えて析出状態になり耐蝕性を害する  
 ものと考へられる。腐蝕試験に於てもこれと同様  
 の現象が現れ、銅の適當に入つたものは腐蝕抵抗  
 大であるが過剰の銅により却て耐蝕性を害する。  
 これも矢張り過飽和の銅の析出により腐蝕が促進  
 されるものと考へられる。

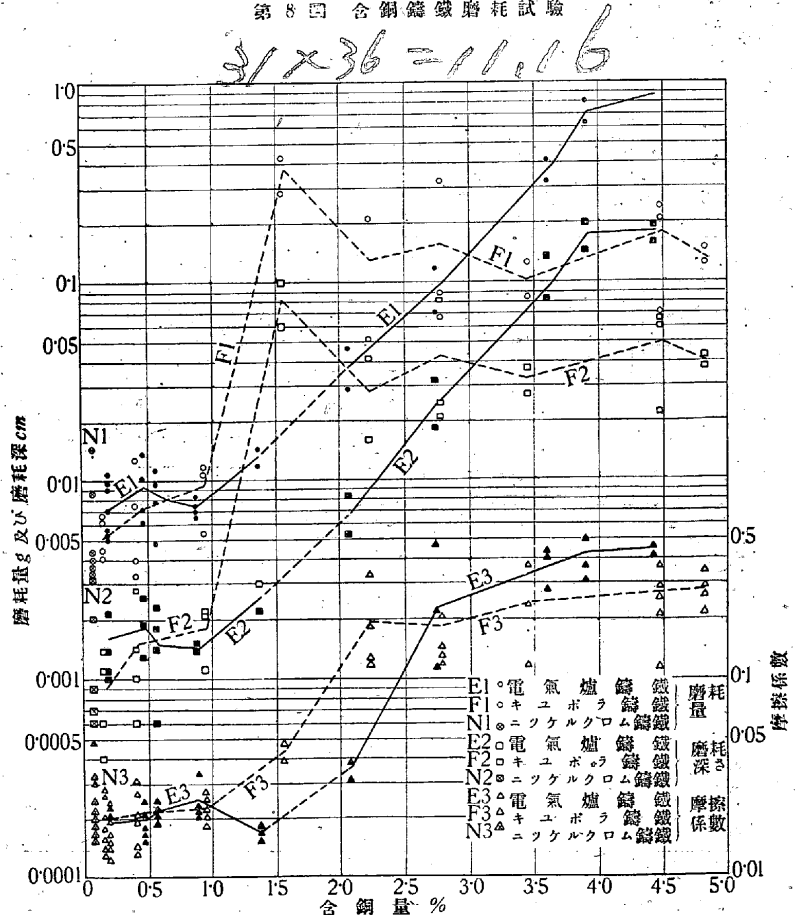
要するに磨耗に対しては銅は乾式では殆ど影響  
 せず含銅量の増加と共に耐磨耗性を改善する事<sup>11)</sup>  
 は認められぬ。濕式になると Cu 1% 以上に於て  
 却て磨耗を害するから注意を要する。

VII. 耐蝕性に及ぼす銅の影響

耐蝕性に就ても種々の實驗結果があり大體銅は鑄鐵の耐  
 蝕性を増すと言はれてゐるが細かい點では多少相違があ  
 る<sup>8)14)15)16)17)</sup>。銅の量にしても 0.25% が最良、或は 0.5



第 8 圖 含銅鑄鐵磨耗試驗  
 10 kg/cm² x 5h 乾式



第 9 圖 50 kg/cm² x 10h - 30 kg/cm² x 5h  
 含銅鑄鐵の磨耗試驗(濕式 清水)

%, 0.5~1.0% 等と限界も一定してゐない。

CFC 系の鑄鐵で腐蝕試験を行つた結果は第 10 圖に示  
 す。條件は次の通りである。



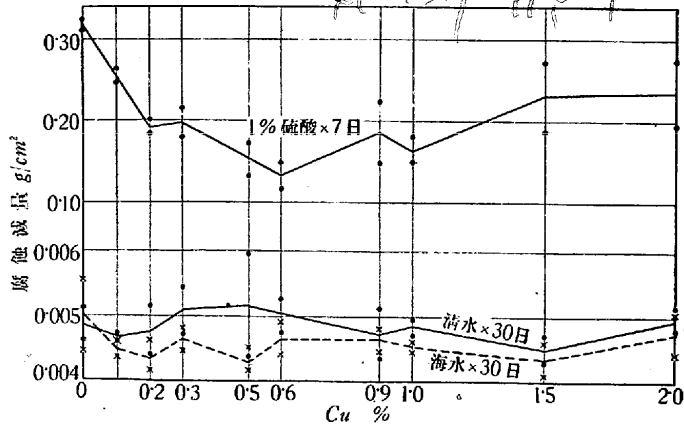
試験片 CFC を鑄鐵 K 型試験片 45×50mm の肉厚

部より試料採取 寸法 20×20×5mm

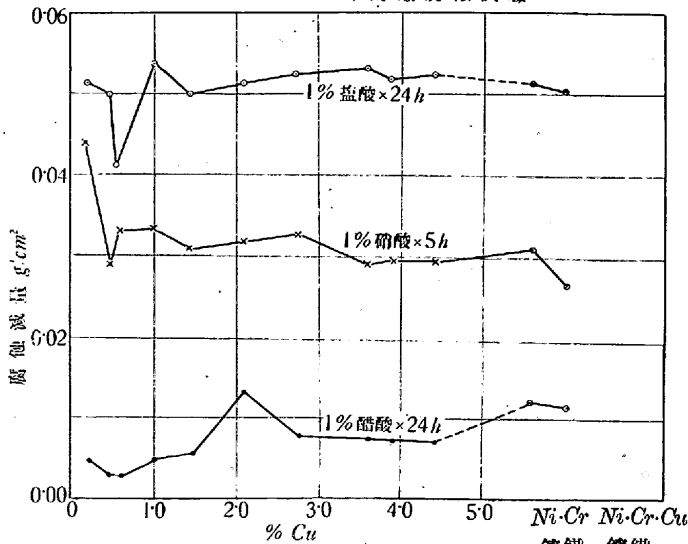
腐蝕液 清水, 海水, 1% 稀硫酸 ビーカーテスト静置

温度 常温, 冬 3~15°C

期間 30日 (清水及び海水) 7日 (稀硫酸)



第10圖 CFC系鑄鐵腐蝕試驗



第11圖 EO,FO系鑄鐵腐蝕試驗 鑄鐵 鑄鐵

以上の結果によれば清水及び海水では銅の量を腐蝕に無関係のやうに認められるが、硫酸の場合では Cu 0.6% に於て耐蝕性最も強く、銅を添加しないものゝ約 1/3 である。これ以上に銅が多いと却て腐蝕に悪影響を及ぼす。

EO 系の鑄鐵に就て行つた結果は第 11 圖に示す。

試験片 EO 系角型試験片 肉厚 60×60mm 寸法 50×30×5mm

腐蝕液 次の3種につき行ふ。

- 鹽酸 1% 24h 浸漬
- 硝酸 1% 5h 浸漬
- 醋酸 1% 24h 浸漬

以上何れもビーカーテスト 静置

温度 常温, 夏 23~32°C

この結果を見る時は何れの腐蝕液の場合も Cu 0.5% 前後に於て最小の腐蝕量を示し、この程度の銅添加により耐蝕性が增大する事が認められる。0.5% 以上銅が加はると却て腐蝕量増大する。

参考の爲にニッケルクロム鑄鐵並にこれに銅を 0.5% 加へたニッケルクロム銅鑄鐵の腐蝕試験結果も比較したが上述の Cu 0.4~0.5% のものはニッケルクロム鑄鐵よりも耐蝕性強く良好なる結果を示す。

### VIII. 結 論

鑄鐵に銅を添加せる結果次のやうにその性質を改善する事が出来た。

1. Cu 0.5% に於て流動性最も良く、それ以上に銅を加へると流動性に有害である。
2. フェロコッパにより銅を加へると全炭素量が少くなり化合炭素が増加して黒鉛化を妨げるやうに見受けられる。
3. Cu 1.5% 以上でチルシ易く、硬度は Cu % と共に上昇する。中心部の軟化を防ぐ上には銅は大して効果は無い。
4. 顯微鏡組織はパーライトは變化しないが、Cu 1% 以上にて黒鉛は微細化且減少し樹枝狀結晶が發達しパーライトはソルバイト的になる。

第9表 含銅鑄鐵と Ni-Cr 鑄鐵の比較

試験項目	材 質	普通鑄鐵	含銅鑄鐵	Ni-Cr 鑄鐵	
化 学 成 分 (%)	炭 素 T.C	3.12	3.0	2.36	
		0.98	0.65	—	
		1.50	1.27	1.63	
		0.66	0.60	0.87	
		0.154	0.15	0.188	
	硫 銅 (%)	黄 S	0.058	0.06	0.068
		Cu	0.19	0.4~0.7	—
		Ni	—	—	1.78
		Cr	—	—	0.63
		機 械 的 性 質	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	33.6	34~36
抗折力 kg	2044		1900~2370	1670	
撓み mm	4.8		3.8~4.7	3.7	
抗壓力 kg/mm <sup>2</sup>	114.8		115~125	110.4	
壓縮量 mm	5.8		5.3~6.4	5.7	
ブリネル硬度 10/3000/30	229		235	269	
アイゾット衝擊値 kg.m	0.11		0.19	0.15	
磨 耗 試 験	シャルピー衝擊 kgm/cm <sup>2</sup>	0.23	0.28	—	
	乾式摩擦量 (g) kg/cm <sup>2</sup> 5h	0.241	0.227	0.274	
	摩擦係數	0.563	0.542	0.541	
	湿式摩擦量 (g) 50kg/cm <sup>2</sup> 10h	0.0065	0.007	0.0065	
摩擦係數	0.0154	0.0217	0.0252		
腐 蝕 量 (g/cm <sup>2</sup> )	清水 67日	0.0010	0.011	—	
	海水 60日	0.0088	0.0082	—	
	稀硫酸(1%) 7日	0.336	0.132	—	
	鹽酸(%) 24h	0.0517	0.0410	0.0515	
	硝酸(%) 5h	0.0442	0.0287	0.0309	
	醋酸(%) 24h	0.0047	0.0029	0.0122	

5. 機械的性質は  $Cu$  0.4~0.6% に於て最も強いが多少衝撃値を下げる傾向がある。

6. 送り磨耗には乾式では殆ど影響を與へないが、濕式で腐蝕を伴はせると  $Cu$  1% 以上で急激に耐磨耗性を害する。

7. 耐蝕性は  $Cu$  0.4~0.5% で最も強く、鹽酸、硝酸、硫酸、醋酸等に對して有効である。

最も良い條件の合銅鑄鐵を取り、普通鑄鐵並にニツケルクロム鑄鐵と比較すると第9表のやうになり、ニツケルクロム鑄鐵よりも硬度小なるに拘らず強度大きく耐蝕性も勝れてゐる。従つて機械の各部分に於て殊にピストンクラウン、シリンダライナ各種弁等強度と同時に耐磨耗性、耐蝕性の要求せられる箇所を使用して充分ニツケルクロム鑄鐵の代用として活用し得べく、戦時下高級鑄鐵の一方向を示すものと考へられる。

尙終に臨み本研究の發表を許可せられたる三菱重工業株式会社本社並に横濱船渠の上司各位、種々有力な助言を賜りたる福井伸二、木原博、藤盛雄吉、矢島善夫の各氏熱心に實驗を擔當された。倉田賢明、村山八十次、臼井昇三、中島梅二の各氏以下各員に厚く感謝の意を表する。

参 考 文 獻

1) Hamasumi, M: The Distribution of Graphite in Cast Iron and the Influence of Other Elements on It's Strength, Sci. Rep., Sendai, ser. I, 13 (1924) 133.  
 2) Krilowski, M: Sur la fonte alliee de cuivre, Annales des mines, ser. 3, 16 (1839) 197.  
 3) Lipin, W: Der Einfluss des Kupfers auf Eisen, Stahl

u. Eisen, 20 (1900) 536, 583.  
 4) Smalley, O.: The Effect of Special Elements on Cast Iron, Foundry Tr. J. 26 (1922) 519, 27 (1923) 3, 31.  
 5) Rolfe, R. T.: Influence of Copper on Corrosion Resistance of Steel and Cast Iron, with a note on Its General Effect on the Latter, Iron Steel Ind. Brit. Foundryman, 1 (1928) 205, 237.  
 6) Pfannenschmidt, C.: Über den Einfluss des Kupfers auf Gusseisen, Giesserei, 16 (1929) 179.  
 7) Hurst, J. F.: Influence of Copper on Cast Iron, Iron Steel Ind. Brit. Foundryman, 5 (1932) 319, 363.  
 8) Hotari, A.: Effect of Copper upon Cast Iron, Bull. Coll. Eng. Kyushu Imp. Univ., 3 (1928) 169. Abst: Chemical Abstracts, 23 (1929) 2,136.  
 9) Barlow, T.: The Iron Age, Jan. 25, 1940. Metals and Alloys: July, 1940.  
 10) Taniguchi, K.: An Investigation on Alloy Chilled Rolles, 鐵と鋼, 18 (昭7) 952, Abst: Metals & Alloys. 4 (1933) MA 186.  
 11) Sohnchen, E. u. Piwowarsky, E.: 鑄鐵に及ぼす銅の影響, 鐵と鋼, 21 (昭10) (Giesserei, Okt. 1934.)  
 12) Boegehold: U. S. Patent. 1,707,753, April 2, 1929.  
 13) Skoröelletti, V. V., and A.I. Sultin: Effect of Tin and Copper on Chemical Stability of Cast Iron, Abst.: Chemical absts, 26 (1932) 5,050  
 14) Kötzsehke, P., and E. Piwowarsky: Über die Korrosion und das Rosten vor unlegiertem und legiertem Gusseisen, Arch. f. d. Eisenhüttenwesen, 2 (1928) 333.  
 15) Denecke, W.: Zur Chemischen Zerstörung des Gusseisens, Giesserei, 15 (1928) 307.  
 16) 菊田, 濱住, 谷口: 鑄鐵  
 17) 學術振興會: 金屬材料  
 18) Gregg and Daniloff: Alloys of Iron and Copper, 1934.

銅及びモリブデンを含む鑄鐵

(谷村照・古賀昌平: 鑄物 13 (昭. 16) 317) 鑄鐵 3.2% C, 1.75% 及び 2.0% Si なる2種の基本成分のものに 0.25~0.75% Mo, 0.5~2.0% Cu の間で種々の組合で兩元素を加へた試料に就き、機械的性質、組織及び腐蝕試驗を行つた結果は

- 1). Mo は黒鉛化を助け Cu は之を助けるが共にその作用は弱い。
- 2). Mo は Cu と共に黒鉛組織を細かくする。地鐵の組織を改良し之を強靱ならしめる作用は Mo の方が著しい。Mo, Cu 共に多い鑄鐵では白色針狀組織が現はれる。
- 3). 抗張力は Mo により高められ Cu は場合により幾分減少せしむ。
- 4). 硬度も Mo により高められ Cu も之を助長するが 1.5% 以上の Cu は効力がない。
- 5). 衝撃値は Mo, Cu により高められるが或る限度がある。
- 6). Mo は肉の厚い鑄物には均一の硬度を與へ質を緻密にし鑄物も出来易くする。

- 7). Cu, Mo が餘り多くなると工作困難となる。
- 8). 腐蝕性に對しては Mo, Cu 共にあまり影響はない。

鑄鐵に及ぼす銅の影響

(T. Barlow: Iron Age Jan. 25 and Feb. 1, 1941, Found. Tr. J. 62 (1941), 181, 203, 鐵と鋼 26 (昭. 15) 313 (一部) 銅を鑄鐵に及ぼす作用の(1)はチル緩和作用で、各元素の黒鉛化作用を量的に示せば Si 1.0, Al 0.5, Ni 0.3~0.4, Cu 0.25~0.35, Mn 0.25, Mo 0.35, Cr 1.0, V 2.0~4.0 で後のものはセメントイトを安定ならしめる。(2)はパーライトの安定作用で銅を鑄鐵に加へた際はチル化を減少せしめるが珪素の如くパーライトを破壊してフェライトを生ぜしめ強度を減ずるやうなことはない。(3)はチル調制作用で(4)は強度を増す作用であるが、この點に於ては勿論 Mo や V や Cr には劣る。低珪素の鑄鐵に Cu を 2~3% 加へた結果は抗張力を 7~10 kg/mm<sup>2</sup> 増した。(5)は硬度を増し耐磨耗性を増す作用でこれはパーライトを強化する爲で“硬い點”を増すものでないから切削性を悪くしない。と、猶銅を含む鑄鐵及び多合金鑄鐵の例、有効な添加法等を述べてゐる。