

ニッケル青銅及特殊ニッケル青銅の二三の性質に就て

(日本鐵鋼協會第 17 回講演大會講演, 昭和 12 年 4 月)

田邊友次郎*
小磯五郎*

ON THE PROPERTIES OF SOME TEMPER-HARDENABLE NICKEL-BRONZES

T. Tanabe & G. Koiso

SYNOPSIS:—The authors investigated the mechanical and chemical properties of some temper-hardenable Nickel-Bronzes, v. z., No. 1 (Ishikawa Metal), No.3 and No.4.

The last-mentioned was invented by the present authors, as one of the results of study on *Cu-Ni-Fe-Al* alloy-series (10-25% Ni, Fe <20%, Al <7%, Cu balance) The Nickel-Bronze No.4. combines great strength and hardness with high corrosion resistance, its properties being as follows.

(1) nominal composition of Nickel-Bronze No. 4

Ni%	Fe%	Al%	Zn%	others%
10	10	4.5	<2	<1

(2) Properties of Nickel Bronze No. 4 Rods

specific gravity	8.26 (20°C)
coefficient of thermal expansion	19.0×10^{-6} (20-500°C)
electric conductivity	9.4% (Cu=100%)
yield point (0.2%)	58-75 kg/mm ²
tensile strength	80-95 kg/mm ²
elongation (50mm)	17-20%
Brinell hardness number	210-250
heat treatment	tempering at ca. 550°C after quenching at 900-950°C or hot-working.

For comparison, some specimens of Kunial Copper and Brass (I. C. I., England), and K-Monel Metal (International Nickel Co., U. S. A.), were examined, and then some hardenable Nickel-Tin bronzes touched upon.

I 緒 言

Cu-Ni-Al 系合金に關しては、古くは石川博士¹⁾、齋藤氏²⁾の研究があり、石川式ニッケル青銅は我國有数の強靱耐蝕性合金として一般に知られてゐる。其後吾々も獨逸系の 15%Ni-2.5%Al-Cu 合金を發展せしめて、現在第 3 號ニッケル青銅として航空發動機の部分品に使用されてゐる。

近時英米に於ては此種系統の合金が再認識された爲か、

Kunial Copper (英, I. C. I.)

K-Monel (米, International Nickel Co.)

7.5%Ni-1.5%Al-Cu 合金 (米, Chase Brass and Copper Co.)

等が市場に現れて來た。

仍て吾等も聊か今日迄攻究し來れる *Cu-Ni-Al* 系、*Cu-Ni-Fe-Al* 系及 *Cu-Ni-Sn* 系に屬する諸合金の攻究結果及新合金第 4 號ニッケル青銅の性能、並に前記 Kunial Copper, K-Monel の眞價等を 概述して参考に 供せんとする次第である。

II *Ni-Al-Cu* 及 *Ni-Al-Fe-Cu* 系

(1) 石川式ニッケル青銅 石川式ニッケル青銅の組成は 10%Ni-2%Al-1%Zn-Cu であるが、10%Ni-Cu に 0~5%Al を添加せる 15mm 角棒に就き焼鈍硬化試験を行ひたる結果は第 1~2 圖に示すが如く、10%Ni-Cu 合金に在ては Al 2.25%にて最大の焼戻硬化が得られることを知る、而してこれは Jones³⁾の試験結果とよく一致してゐる

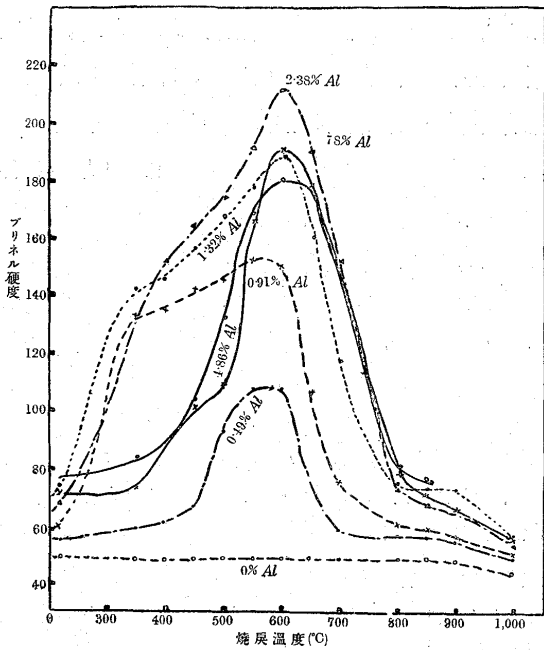
* 住友金屬工業株式會社伸銅所研究部

¹⁾ 機械學會誌, 3 (昭-3) 215

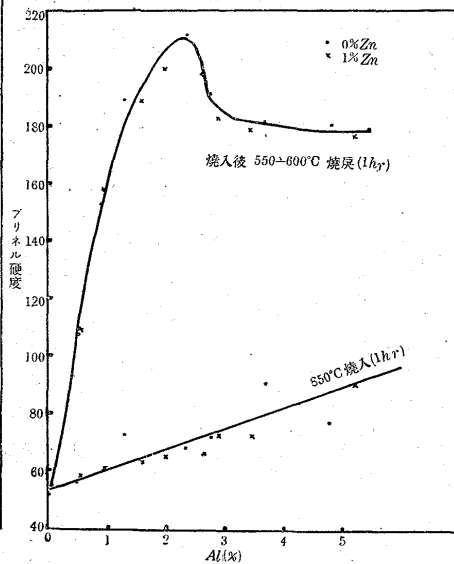
²⁾ 水曜會誌, 5 (昭-2) No. 5

³⁾ J. Inst. Met. 52. 1933.

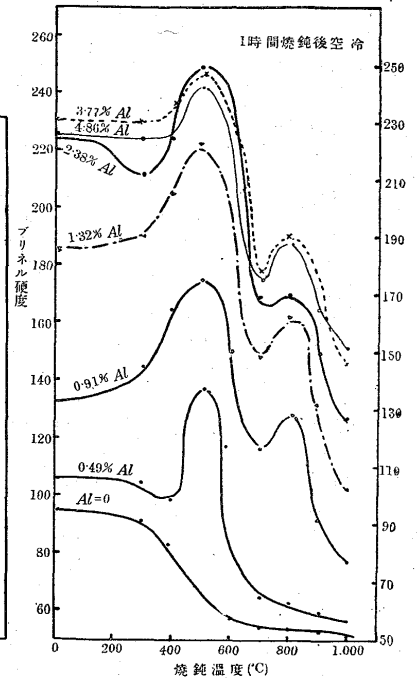
第1圖 10%Ni+Al+Cu 合金の熱処理効果 (15mm 角棒材 850°C 焼入後焼戻)



第2圖 10%Ni+Al+Cu 合金の熱処理効果 (15mm 角棒材)



第3圖 10%Ni+Al+Cu 合金の圧延材の焼鈍試験



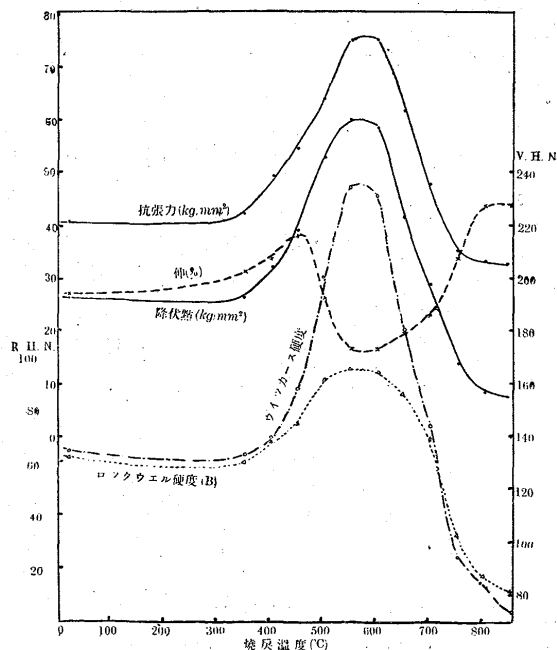
又、上記の圧延棒を各温度に焼鈍すると第3圖の如く、その硬度は大體 500°C にて最大となり、且つその絶対値は焼入焼戻によるものよりも常に大である。即ち此種合金は高温度に加熱後常温加工を行ひ、更に焼鈍を施すことにより最も強力なものが得られることを示す。

仍て、石川式ニッケル青銅(住友第1號ニッケル青銅)

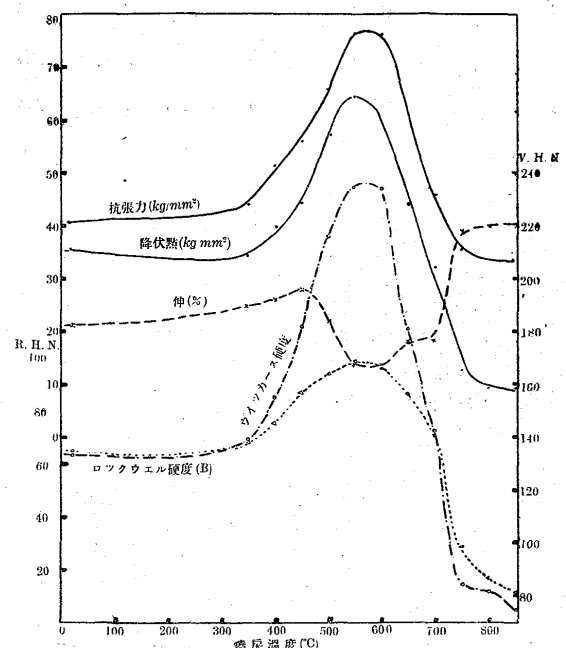
板(2×300×600mm)を 850°C 焼入後、夫々 5、10 及 15%の常温圧延を施し更に 350~850°C に1時間宛加熱投水による焼戻を行ひたるに第4~6圖及第1表の如き成果を得た。即ち第1號ニッケル青銅は叙上の如き處理に依り降伏點の極めて高きものが得られる。

第7~9圖は本合金のマイクロ組織の一例である。

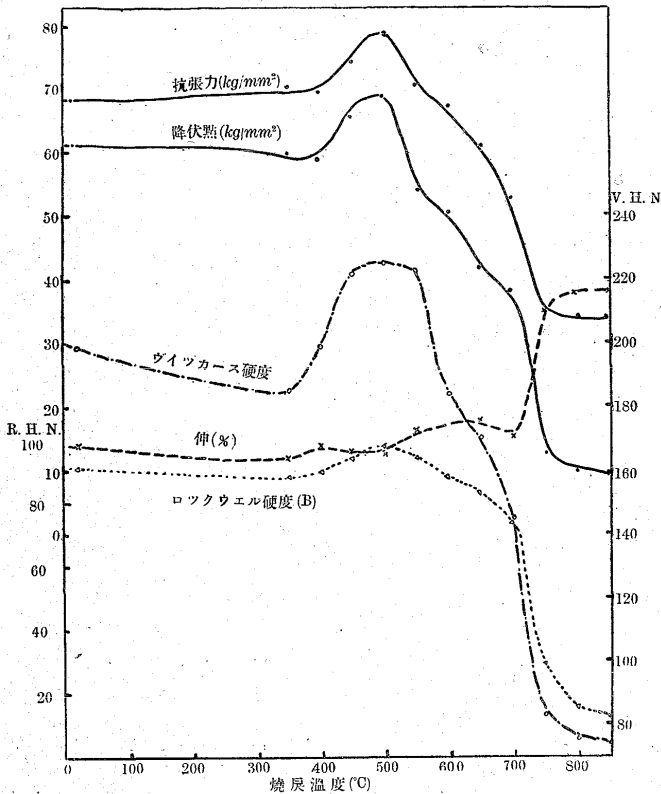
第4圖 第1號(石川式)ニッケル青銅の焼戻試験 (850°C 焼入後 5% 常温圧延板)



第5圖 第1號ニッケル青銅の焼戻試験 (850°C 焼入後 10% 常温圧延板)



第6圖 第1號ニッケル青銅の焼戻試験
(850°C 焼入後 15% 常溫壓延板)



第1表 第1號ニッケル青銅板の機械的性質に
及ぼす加工度及焼戻温度の影響

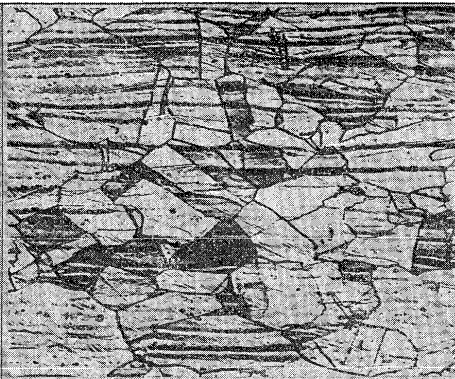
(1mm 板)

焼入 °C	常溫 壓延	焼 戻 温度	降伏點 (0.2%)		抗張力 kg/mm ²	伸 (50mm) %	硬 度	
			kg/mm ²	kg/mm ²			ヴィカ ース (10kg)	ロック ウエル (B)
850	—	600°C 1 hr	38.5	72.1	18	225	87.7	
850	5%	550°C 1 hr	60.0	75.4	17	235	96.1	
850	10%	550°C 1 hr	64.3	76.4	14	235	97.8	
850	15%	500°C 1 hr	68.9	78.8	12.5	225	97.3	
850	15%	500°C 4 hr	69.0	80.9	13.0	234	97.0	

第7圖 第1號ニッケル青銅のマイクロ組
織 5% 常溫壓延後 850°C 水焼入



第8圖 850°C 焼入後
10% 常溫壓延



第9圖 10% 常溫壓延後
550°C 1 時間焼戻



× 200 を 0.76 に縮寫

4) 住友研究報告, I. (1933), 866.

(2) 第3號ニッケル青銅 本合金は最初獨逸にて攻究實用化されたものであるが、數年前吾等はその成分を少しく改變して現在の第3號ニッケル青銅となしたるものである。其詳細に就ては既に別誌⁴⁾にて報告せるを以て、此處には單に其性能一般を概記するに止める。本合金は今般新制定の航空評議會規格(陸海軍及民間航空規格)の特殊ニッケル青銅第2種として規定され抗張力 80 kg/mm² 以上、伸 8% 以上、ブリネル硬度 210 以上を満足するものとして既に廣く使用されてゐる。

① 成分 (%)

Ni	Al	Fe	Mn	Zn	Cu
14~16	2~3	<1	<0.5	<1	殘部

② 熱處理

450~650°C に加熱後空冷又は爐冷するか、或は約 850°C にて焼入し(水中又は大氣中)。約 600°C にて焼戻す(大氣中)。

③ 機械的性質(熱處理を施せるもの)

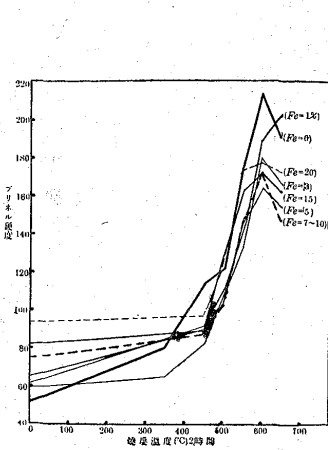
性 能	棒(徑 10~100mm)	管(外徑 100~250mm 厚 35~80mm)
抗 張 力 kg/mm ²	80~95	78~90
降 伏 點 kg/mm ²	60~75	—
伸 (50mm) %	10~18	10~20
面 縮 %	20~40	—
ブリネル硬度 (10/1,000)	220~250	230~260

(3) 第4號ニッケル青銅 吾等は 10~25% Ni に Fe <20% 及 Al <7% を添加せる Ni-Fe-Al-Cu 系統を攻究したる結果、此處に第4號ニッケル青銅を得るに至た。

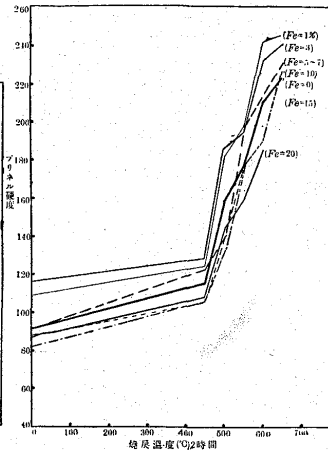
而して本研究により、Fe は少くも 20% 迄は其の添加によつて焼戻硬化の現象は失はれないことを知た。第 10~11 圖は本統合金の焼戻硬化状態を示す一例である。

次に本研究の結果の一として生れた第4號ニッケル青銅の性能一般並に諸試験成果の二三の例を掲ぐれば次の如し。

第10圖 15%Ni+2%Al+
Fe-Cu 合金砂型
鑄物の焼戻効果
(850°C 焼入)



第11圖 25%Ni+3%Al+
Fe-Cu 合金砂型
鑄物の焼戻効果
(850°C 焼入)



① 成分 (%)

Ni	Fe	Al	Zn	其他	Cu
9~11	9~11	4~5	<2	<1	残部

② 比重 8.26

③ 熱膨脹係數 19.0×10^{-6} (20~500°C)

④ 導電率 (Cu=100%) 9.4%

⑤ 機械的性質其の他

第2表 第4號ニッケル青銅の機械的性質

試料	降伏點 (0.2%) kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 (50mm) %	硬度 (ブリネル 10-1,000)	
25~30mm 壓延の儘	63.5	80.5	25.0	216.0	
25~30mm 丸棒	550°C 焼鈍	74.7	93.6	19.5	246.0
	600°C 焼鈍	75.6	95.0	17.0	246.0
	900°C 焼入	29.0	54.5	66.5	129.5
	900°C 焼入後 550°C 焼戻	59.0	83.5	22.0	212.0
55mm 丸棒	550°C 焼戻	58.0	85.5	22.5	219.5
	壓延の儘	60.0	78.0	25.5	199.0
	550°C 焼鈍	70.0	88.5	19.0	234.0
100mm 丸棒	900°C 焼入後 550°C 焼戻	60.0	85.3	17.0	225.0
	壓延の儘	46.0	73.1	28.5	193.0
	550°C 焼鈍	63.5	82.0	20.0	224.0
1mm 板	900°C 焼入後 550°C 焼戻	63.0	81.5	20.0	220.0
	壓延の儘	76.8	80.1	7.5	13
	900°C 焼入後 550°C 焼戻	58.5	82.4	16.0	16

第12圖には本合金棒材の焼戻試験、第13圖には第1、第3及第4號ニッケル青銅の高温度抗張試験、第14圖には第4號の高温度壓縮試験、第15圖には第4號の示差膨脹曲線(純ニッケルに對する)を示し又第4號合金の檢鏡結果を第16、17圖に掲げた。

尙第4號合金板と18/8不銹鋼板(C≒0.1%)との耐蝕性比較試験結果を第3表に示して置く。

第3表 腐蝕試験

(1) 耐酸性(間歇式乾濕腐蝕試験, 15分毎, 40°C)

腐蝕液	期間	重量減 mg/cm ²	
		第4號ニッケル青銅	18/8不銹鋼
1% H ₂ SO ₄	15日	9.42	1.27
5% "	10日	17.58	43.61
1% HCl	15日	76.00	18.56
5% "	7日	38.57	13.26
1% HNO ₃	10日	19.18	0.51
5% "	7日	23.07	0.34

(2) 耐海水性(スプレーテスト, 20%NaCl, 5ヶ月, 常温の)

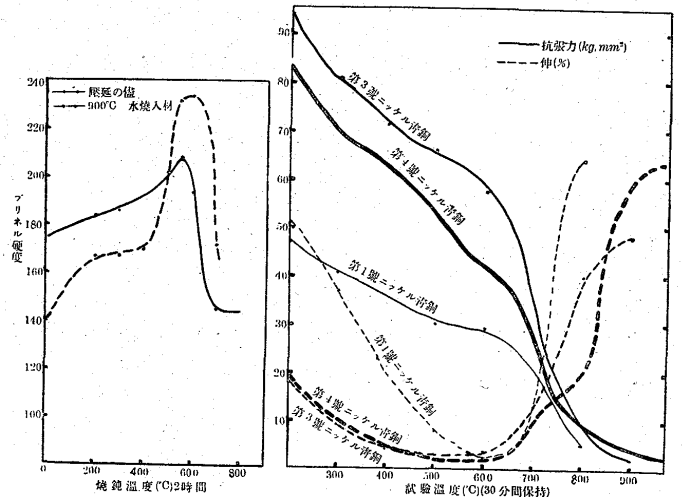
重量減 mg/cm ²	
第4號ニッケル青銅	6.42
18/8不銹鋼	0.33

第12圖 第4號ニッケル青銅

(30mm 丸棒)の焼戻硬化

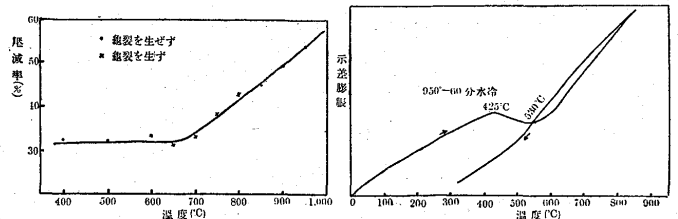
第13圖 第1、3及4號ニッケル青銅の高温度抗張試験

(30mm 丸棒焼入焼戻)



第14圖 第4號ニッケル青銅高温度壓縮試験丸棒15×20mm 圓柱試片に4mの高さより20kgの重錘を落下せしむ

第15圖 第4號ニッケル青銅示差膨脹曲線



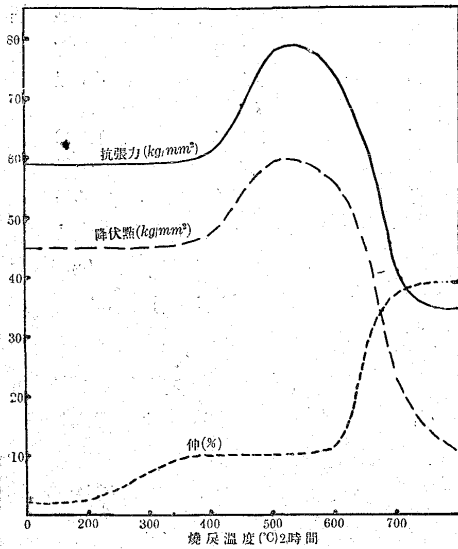
第16圖 第4號ニッケル青銅のマイクロ組織

第17圖 900°C 焼入 500°C 焼戻 (×200を0.54に縮寫)

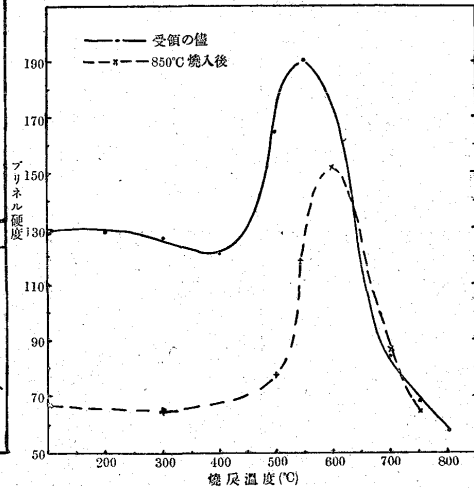


(4) Kunial Copper 本合金はAl 1.5%(約)+Ni 6%(約)-Cuの成分を有し、後述のKunial Brassと共

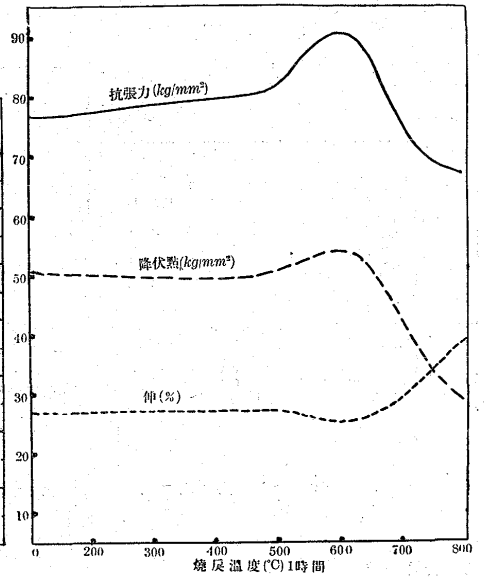
第 18 圖(A) Kunial Copper (1.5mm 板) の焼戻試験



第 18 圖(B) Kunial Copper 25mm 丸棒の焼戻試験



第 19 圖 K-Monel (1.5mm 板) の焼戻試験



に英國 I. C. I. Metals Ltd. より製作販賣せらるゝもの、商品名である。而して兩者共、石川式ニッケル青銅同様、高温より水冷後常温加工を行ひ、更に焼戻を施すことにより最も強力なものが得られる。

次に、英國製造元より購入せる板及棒材に就て行つた確性試験結果の概要を述べる。

① 成分 (%)

	Cu	Al	Ni	Fe	Mn	Zn	寸法
板	残部	1.36	5.73	0.64	0.07	0.06	1/16"×12"×3'
棒	"	1.64	6.13	0.12	0.02	0.02	1"丸×6'

② 熱処理法

受領歴延板(焼入後歴延せるものなるべし)を各温度に2時間宛焼戻すると第 18 圖(A)の如くなり又棒材に就て同様の熱処理並に 850°C 焼入後に焼戻すると第 18 圖(B)の如くなる。此等に依て本合金の熱処理法を知り得る。

③ 機械的性質

試料	降伏点 (0.2%) kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 (50mm) %	面縮		硬 度
				シヨ アー	ブリネル (10-1,000)	
1.5mm 板	受領の儘	45.1	58.8	2	—	37
	500°C 2 時間焼戻	59.5	77.7	10	—	44
25mm 丸棒*	受領の儘	46.5	49.7	23	56.2	—
	550°C 2 時間焼戻	65.1	75.7	15.5	33.0	—

* 900°C 焼入, 600°C, 2 時間焼戻せるものは降伏点 36kg/mm², 抗張力 64kg/mm², 伸 16.5%

(1/16"×12"×4")に就て行へる確性試験成績の概要を述べる。受領板の組成次の如し。

Ni	Cu	Al	Fe	Mn	Si	C	S
64.60	30.46	2.26	1.52	0.51	0.49	0.16	<0.01

國際ニッケル會社のパンフレットに依れば K-Monel の質別は次の如くなつてゐる。

第 4 表 K-Monel の質別

質別	處 理	降伏点 (0.5%) kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 (50mm) %	面縮 %	ブリネル 硬 度 (3,000 kg)
A	790°C 焼入	<56	<84	>40	>50	<225
B	790°C 焼入, 540°C 爐冷	56~70	84~98.5	>30	>35	225~275
C	790°C 焼入, 580°C 爐冷	70~84	98.5~112.5	>20	>25	275~325
D	焼入加工後 580°C 爐冷	>84	>112.5	>15	>20	>325

受領板は其儘で、次の如く、

降伏点 (0.2%) kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 (50mm) %	エリキゼン値 mm
52.8	76.5	27	9.6

之を更に1時間宛焼戻(空冷)すれば第 19 圖の如く強靱性を變化する。詳細なる熱処理試験、硬化理論等は次回に譲るが一二の熱処理効果を示せば次の如し。

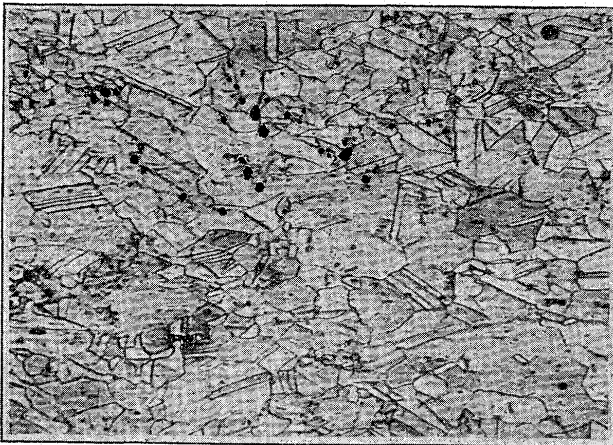
熱 處 理	降伏点(0.2%) kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸(50mm) %	エリキゼン値 mm
受領板を 600°C 2 時間焼戻	70.9	96.3	22.0	8.5
950°C 焼入後 500°C 2 時間焼戻	28.1	65.5	37.5	—

III Cu-Ni-Sn 系

(5) K-Monel 本合金は Ni>63%, Cu>25%, Al<5%, C<0.20% 他金屬 <5% とあつてモネルに適當量の Al を添加し焼戻硬化性を附與せしめたものである。米國 International Nickel Co. より購入した歴延板

吾等は約七、八年前、復水器管材探究に當り少しく Cu-Ni-Sn 系合金を攻究したるを以て此處に其の一端を述べ

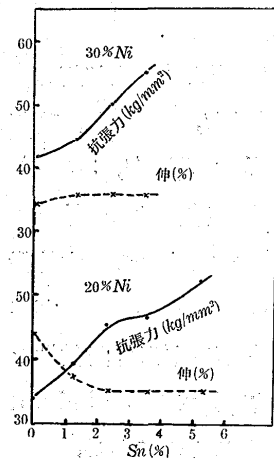
第 20 圖 K-Monel 板受領の儘 ×200



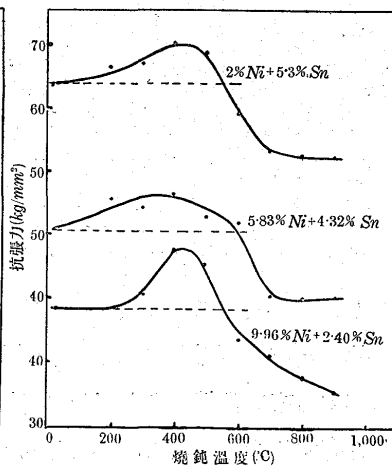
て置く。

第 21 圖は 20~30% Ni-Cu 合金に対する Sn の影響を示すものである。試料は 10~20% 常温圧延を施せる 1mm 板を完全に焼鈍せるものであるが、何れも 500°C 以下の焼鈍に依て真鍮類似の硬化現象を現すこと第 22 圖に示せるが如くである。

第 21 圖 Cu-Ni 合金に及す Sn の影響



第 22 圖 Cu-Ni-Sn 合金の焼鈍試験



而て、6% Ni + 4% Sn-Cu (No.43 合金) の如きは、20% Ni-Cu, 30% Ni-Cu 合金に比して耐海水性は劣るが、弱酸には殆ど同程度の耐酸性を有してゐる。

第 5 表 6% Ni-4% Sn-Cu 合金の性能

試料 (焼鈍状態)	抗張力 kg/mm ²	伸 %	N/10 HCl, N/10 H ₂ SO ₄ , 3% NaCl, 交互試験, 1ヶ月		
			1ヶ月 浸漬の重量 減 g/dm ²	1ヶ月 浸漬 g/dm ²	1ヶ月 乾 漬 g/dm ²
30% Ni-Cu	42.0	34.5	1.475	0.195	0.0295
20% Ni-Cu	34.0	44.0	1.380	0.205	0.0235
6% Ni-4% Sn-Cu	40.5	39.0	1.120	0.210	0.2050

然るに Cu-Sn 合金は一般にエロージョンに對して極めて耐抗力が弱い。仍て吾等は此の缺陷を除くと同時に、出來得る限り Ni 量を低減することに努めたる結果、20%

Ni-Cu に少量の Cr を添加することにより、30% Ni-Cu と略同等の耐潰蝕性が得らるゝことを知り、0.1~10% Sn, 0.5~40% Ni, 0.01~2.0% Cr, 殘部 Cu なる新合金を得たが、其の性能の詳細に就ては之を他日に譲ることとする。

其後 Cu-Ni-Sn 系は Eash & Uphogrove⁵⁾, Wise & Eash⁶⁾, 水谷氏⁷⁾ 等の研究が發表されて、本系合金も亦焼戻硬化するものであることが一層明かにされた。即ち前記吾々の實驗に於て認められた低温焼鈍による硬化も是れに關聯せる現象かと考へる。

而て、International Nickel Co., は上記諸氏の研究に依り

Ni%	Sn%	Zn%	Mn%	Cu%
7.5	8	2	0.25	殘部

の如き組成を有する新合金の特許を得てゐる。其實用價值如何は別として、機械的性質は同社の發表に依れば第 5 表に示す如く相當優秀なものである。

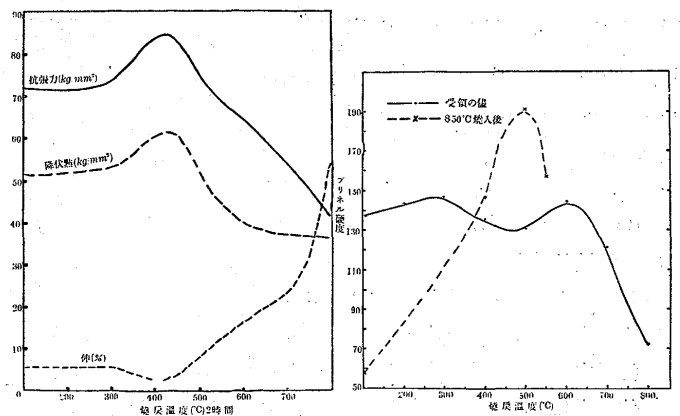
第 6 表 International Nickel Co. 特許合金の性能 (760°C 焼入, 260~370°C 焼戻)

種目	砂型	1.9mm 板
比例限 kg/mm ²	40~60	37~64
抗張力 kg/mm ²	63~78	73~96
伸 %	6~18	4~32
ブリネル硬度	180~230	189~314

IV 其他の特殊ニッケル青銅

(1) Kunial Brass 本合金は既に Kunial Copper の項にて述べたる如く、英國 I. C. I. Metals Co. の製作に係り、其の成分よりすればニッケル・アルミ黄銅であるが、關聯してゐるので同社より購入せる板及棒材に就て施

第 23 圖(A) Kunial Brass 第 23 圖(B) Kunial Brass (1.5mm 板) の焼戻試験 25mm 丸棒の焼戻試験



5) Inst. Met. Division, A. I. M. I., 1933.

6) " " " " 1934.

7) 古河電工 金物 第 2 號, 昭 10-7.

行せる確性試験成果の概要を述べる。其標準組成は次記する如く $Zn=20\%$, $Ni=6\%$, $Al=1.5\%$, 殘部銅である。

① 成分 (%)

	Cu	Ni	Al	Fe	Mn	Zn	寸法
板	72.36	6.16	1.59	0.17	0.06	19.66	1/16"×12"×3"
丸棒	72.41	6.04	1.47	0.27	0.02	19.79	1"×6"

② 熱處理法

Kunial Copper と同様の熱處理を行た結果を示すと第 23 圖 A 及 B の如くなる。

③ 機械的性質

形状	試料	降伏點 (0.2%) kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 (50mm) %	面縮 %	硬 度
1.5 mm 板	受領の儘	50.8	72.4	4(點外)	—	44 } ショ
	400°C 2 時間焼鈍	60.5	83.8	3(點外)	—	54 } ア
22 mm 丸棒	受領の儘	35.0	51.6	35	47.5	147 } プリ
	500°C 2 時間焼鈍	45.5	61.5	20	24.0	170 } ネル

尚棒材を 900°C 焼入後 2 時間焼戻せる結果は次の如くである。

焼戻温度 °C	降伏點(0.2%) kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 (50mm) %	面縮 %
450	31.5	32.0	9	21.3
500	37.5	57.4	9	14.7
550	44.5	56.5	10	15.0

④ 耐蝕性

試料	重量減 (mg/cm ²)			
	1% H ₂ SO ₄ 40°C, 7 日間	1% HCl 40°C, 5 日間	1% HNO ₃ 40°C, 4 日間	20% 食鹽 水噴霧試験, 8 ヶ月
K-Monel	2.13	2.95	1.95	4.78
Kunial Copper	3.38	25.30	1.90	5.31
Kunial Brass	7.26	14.45	2.77	3.21
10% Al-Cu	0.58	0.80	2.51	—
Albrac	3.55	18.75	1.51	4.60

(2) No. 81 合金⁷⁾ 70/30 眞鍮に於ける Zn の一部を Ni 及 Al にて置き換へたものが Kunial Brass とすれば、本合金は 60/40 眞鍮の Zn の一部を Ni, Al にて置換したものと見ることが出来る。既に 10 年前に發表⁸⁾ したものであるが Kunial Brass を記した關係上此處に其の要點のみを再録して置く。

① 成分 (%)

Cu	Ni	Al	Zn
60	5	4	殘部

② 機械的性質

13 mm 丸棒, 850°C 焼入, 300~350°C 焼戻

降伏點 (0.2%)	kg/mm ²	45~50
抗張力	kg/mm ²	70~75
伸 (50mm)	%	19~14
ブリネル硬度		179~197

⁷⁾ 前掲

⁸⁾ 田邊, 日本鑛業會誌, 127, 1927.

V 總 括

(10% Ni, 2% Al, 1% Zn, 殘部銅)

1. 石川メタル は焼入後常溫加工し適當に焼戻する事に依り板材として降伏點 60~69 kg/mm², 抗張力 75~81 kg/mm², 伸 17~13% の如き優秀なものが得られる。
2. 第 3 號ニッケル青銅 (15% Ni, 2.5% Al, Fe+Mn + Zn < 2, 殘部銅) は抗張力 > 80 kg/mm², 伸 > 8%, 硬度 > 210 を満足する棒材及鍛造品で現に航空機關部分品として實用されてゐる, 本材は又既報の如く必ずしも焼入を要せず熱壓延後の焼戻のみで事足るの特徴がある。
3. 第 4 號ニッケル青銅 (10% Ni, 10% Fe, 4.5% Al, Zn < 2% 殘部銅) は Cu-Ni-Fe-Al 系の攻究結果創製せるもので石川メタル, 第 3 號合金よりも安價であり, 棒材としては抗張力 > 80 kg/mm², 伸 > 15%, ブリネル硬度 > 210 を満足し得る。又熱處理に關しては第 3 號同様の特徴がある。本材は第 3 號に代用し得るものと考へられるが詳細は實用試験完成後に報告するであらう。
4. Kunial Copper (6% Ni, 1.5% Al 殘部銅), Kunial Brass (6% Ni, 1.5% Al, 20% Zn, 殘部銅) 及 K-Monel Metal (65% Ni, 2.5% Al, 30% Cu 殘部不純物) は夫々に本文詳記の如き確性試験の結果に依れば良好なる性能を有する。Kunial 合金の一大特徴としては被加工性の大なる事であらう。K-Monel が其他のニッケル青銅に比し一段と優秀なる強靱性, 耐蝕性を有する事は當然であり, 且又經濟的に見て Monel Metal を有する米國に於てのみ發達可能なるものである。
5. 要之, 我等の第 3 及第 4 號ニッケル青銅と云ひ, K-Monel Metal と云ひ, 殊には Kunial Copper の如き何れも石川博士創製のニッケル青銅に其端を發すると考へざるを得ないので, 今更ならねど石川博士に深甚の敬意を表する次第である。
6. Cu-Ni-Sn 系に就ても少しく觸れた。