



# ステンレス鋼の誕生と初期の発展

## The Birth of Stainless Steel and Its Early Development

遅沢浩一郎 ニッケル協会 東京事務所  
顧問  
Koichiro Osozawa

### 1 ステンレス鋼の誕生以前の 研究・開発<sup>1-3)</sup>

JISによると、ステンレス鋼とは「耐食性を向上させる目的で、クロム又はクロムとニッケルを含有させた合金鋼。一般にクロム含有量が約11%以上の鋼をいい、主としてその組織によってマルテンサイト系、フェライト系、オーステナイト系、オーステナイト・フェライト系および析出硬化系に分けられる。」<sup>4)</sup>とある\*。鉄にCrを合金させて約11%Crに達すると清浄な大気中ではほとんどさびなくなる。13Cr ステンレス鋼刃物の発明者であるイギリスのH.Brearleyは、stainless steel (さびない鋼) と名付けた。ステンレス鋼の必須元素であるCrは1797年にフランスの化学者L.N.Vauquelinがシベリアの紅鉛鉱から発見し、その翌年の1798年に色を意味するギリ

シャ語khromaに因んでchrôme (クロム) と名付けた。かれはクロムが酸に侵されにくいことを認めていたといわれる。

鉄鋼へのクロム元素の適用は、発見から20年以上経った1820年代になってからで、今日の意味でのステンレス鋼が発明されたのは、さらに90年ほど後の1912~1914年であるが、それまでに欧州を中心にCrを含む鉄合金に関する研究および開発が多くの人々によって行われた。そこで、ステンレス鋼誕生に影響を及ぼしたと考えられる主な事柄を表1にまとめた。なお、ステンレス鋼の重要な合金元素であるNiは、Cr発見以前の1751年にスウェーデンのA.F.Cronstedtが紅砒ニッケル鉱からの製錬により金属として抽出することに成功している。

1820年にイギリスの刃物師J.Stodartと王立研究所のM.Faradayは、刃物の性質の改良、とくにさびない刃物の開

表1 ステンレス鋼の誕生以前の主な関連事項\*

1751年	ニッケルの抽出	A.F.Kronstedt(スウェーデン)
1797年	クロム元素の発見	L.N.Vauquelin(フランス)
1820年	さびない刃物の研究	J.Stodart & M.Faraday(イギリス)
1821年	フェロクロム、Cr鋼の研究 鉄にCrを合金化すると耐酸性に優れることを発見	M.Berthier(フランス)
1822年	1%Cr鋼、3%Cr鋼刃物	M.Faradat & J.Stodart(イギリス)
1892年	Fe-0.22~16.74%Cr(高C)の各種性質研究	R.A.Hadfield(イギリス)
1895年	テルミット法による低Cフェロクロムの工業規模製造	H.Goldschmidt(ドイツ)
1903-6年	Fe-Cr, Fe-Cr-Niの組織および機械的性質の研究	M.I.Guillet(フランス)
1910年	珪素還元法による低C金属。合金の製造法開発	F.M.Becket(カナダ)
1910年	Fe-Cr(10%以上)-Mo合金の特許出願	W.Borchers & P.Monnartz(ドイツ)
1911年	Fe-Cr合金の耐酸性の研究(学位論文)	P.Monnartz(ドイツ)

\*主に文献<sup>2,3)</sup>を参照して作成。

\* ISOでは、ステンレス鋼は「C1.2%以下、Cr10.5%以上の合金鋼」と定義されており<sup>5)</sup>この成分に合致する耐熱鋼も含まれる。現在日本でも統計上はこの定義に従っている。

発、を行うため、Pt、Au、その他の元素を鉄に添加した膨大な実験結果を発表したが、Crの影響については研究されていなかった。ところが、翌1821年フランスのM.BerthierはフェロクロムおよびCr鋼に関する研究のなかで、鉄にCrを合金すると耐酸性が向上することを認めていた。それに刺激されたと思われるStodartとFaradayは翌1822年に1%Cr鋼および3%Cr鋼の刃物を発表した。その後、多くの研究者が、鉄にCrを添加するとエッチングしにくいことを認めたが、さびない鋼の発明までには到らなかった。FaradayらのCr鋼の刃物の発表から70年後の1892年に、高Mn鋼の発明で有名なイギリスのR.A.HadfieldはCr0.22~16.74%を含むFe-Cr合金について、機械的性質、磁氣的性質、熱的性質などを発表している。なお当時のフェロクロム原料は炭素を多く含んでいたため、試料にはCr量の約1/10のCが含まれていた。耐酸性に関しては、これらのうち1.18%Cr、5.19%Crおよび9.18%Cr鋼について、常温の50%硫酸で浸漬試験を行い、腐食減量が初めの試料に対して、それぞれ3.32%、4.78%および9.18%と、Cr量を増すことにより、むしろ腐食されやすくなることを認めていた。これは、当時の耐食鋼といえばNi鋼であり、そのために用いられていた硫酸試験液を腐食試験に用いたためである。なおHadfieldは、ステンレス鋼が発明されたのちの1916年に、24年前から保管されていた11.13%Cr鋼がまったくさびていなかったことを認めた、といわれている。1895年になると、ドイツのH.Goldschmidtがアルミニウム粉末を利用して酸化クロムを還元するテルミット法を開発し、それにより低Cのフェロクロムを工業的規模で製造することに成功した。その後は低Cフェロクロムを原料として用いることができたため、C含有量の少ないCr鋼、Cr-Ni鋼に関する研究が1900年代から発表されるようになった。なお、1907~8年にカナダ人のF.M.Becketは珪素により金属酸化物を還元して低Cの金属および合金を得る珪素還元法を考案し、これによりテルミット法よりも安価に低Cフェロクロムを量産できるようになった。

Cr鋼に関しては、1903~6年にフランスのM.I.Guilletが低Cフェロクロムを用いて作製したCr含有量の異なるCr鋼およびCr-Ni鋼に関して金属組織、状態図および機械的性質な

どの研究結果を発表している。そのなかには組成的には今日のステンレス鋼に近いものも含まれていたが、耐食性に関しては、金属組織をみるためのエッチングについて触れただけであり、またGuilletの後を継いで合金鋼の研究をしたA.M.Portvinが用いた鋼のなかにも今日のSUS430相当の組成を有する鋼も含まれていたが、両者とも、耐食性の優れた材料としての認識は未だなかった。

Fe-Cr合金が、硝酸に代表される酸化性酸に対して耐食性の優れたことを、系統的な研究により初めて明らかにしたのは、ドイツのアーヘン工科大学においてW.Borchers教授の下で研究をしていたP.Monnartzによってであろう。かれは1911年に書いた「Fe-Cr合金の耐食性に関する研究」という学位論文のなかでCr量の異なるFe-Cr合金の硝酸に対する耐食性をまとめ、Cr4%以上になると希硝酸に対する耐食性が向上し、Cr20%以上では純Crと同等の耐食性を示すことを認めた。また、かれはBorchers教授とともに1910年にCr10%以上を含むFe-Cr-Mo合金の特許を出願し、たとえば60Cr-35Ni-2~3Mo合金は王水にも侵されず白金の代わりに利用できること期待された。この特許成分範囲に含まれる鋼は、現在は低C、低N化することによりCr-Moステンレス鋼として多くの鋼種が開発されている。

## 2 ステンレス鋼の誕生

### 2.1 オーステナイト・ステンレス鋼の誕生<sup>1,2,6)</sup>

Monnartzが上記のような研究を行った頃、ドイツのFried. Krupp社では、化学物理研究所においてB.StraussおよびE.Maurerらが中心となって熱電対保護管向けなどの高温材料用にNi-Cr鋼の研究および製造を行っていたが、おそらくMonnartzらの研究結果に刺激されて耐食性に関しても研究を進め、その結果Cr-Ni鋼の耐食性が優れることを見出したと思われる。そこで1912年の10月と12月に、代理人C.Paselの名義でドイツ特許を出願し、いずれも1918年に登録された。同特許の請求範囲を要約して、表2に示す。いずれの特許も耐食性に特長があり、特許では熱処理方法についても記載されている。1912年10月に出願された特許の代表的成分

表2 Fried. Krupp社が1912年に出願したドイツ特許概要

出願年月日	特許番号	特許請求内容の概要
1912.10.17	304,126	6~25%Cr, 20~1/2%Ni, 1%以下のCを含む鋼を使用した高耐食性が要求される製品(鉄砲、タービン翼など)の製造。
1912.12.20	304,159	15~40%Cr, 20~4%Ni, 1%以下のCを含む鋼を使用した酸および応力に対して高い抵抗を有する製品(容器、ロール、機械部品など)の製造。

は0.15C-14Cr-2Niで、V1Mと命名され、12月に出願された特許の代表成分は0.25C-20Cr-7Niで、V2Aと命名された。前者は今日のNi含有マルテンサイト系ステンレス鋼SUS431の原形となるものであり、一方、後者は現在のオーステナイト・ステンレス鋼SUS304の原形となった。これらの鋼は1914年にスウェーデンのMalmöで開かれた博覧会において初めて公開され、V1Mは強度を要求される機械部品に、V2Aは優れた耐食性が要求される機械部品および装置用に推奨された。耐食性に関しては、表3に示すように当時の耐食鋼である25Ni鋼と比較したデータが示された。これによると新しい鋼は大気中でさびにくく、とくにV2Aは硝酸に対する耐食性が優れ、一方、硫酸および塩酸に対しては十分な耐食性はないと説明されている。

2.2 マルテンサイト・ステンレス鋼の誕生<sup>1,7,8)</sup>

一方、イギリスにおいては、この頃Thomas Firth and Sons とJohn Brown and Co.の共同の開発部門として設立されたBrown Firth Research Laboratoriesの初代所長であったH.Breareleyが、砲身用材料として、高融点で高温下の磨耗に強い材料としてCr鋼が適していると考え、Cr10%以上、C0.3%程度のCr鋼の製造を目指していた。実験室のるつぼ炉ではC含有量が高くなり目標の成分が得られなかったので、1913年8月20日にThomas Firth and Sonsのエルー電気炉で溶解して0.24C-0.24Si-0.44Mn-12.86Crの成分を有する鋼を得ることができた。同鋼は鍛造、熱間圧延により1・1/8in厚の板に加工され、軟化熱処理後は容易に切削できたので、銃身ほかの製作用に向けることができた。同鋼の金属組織に対する熱処理の影響を調べるためのエッチングでは、普通鋼に比べて著しく腐食されにくく、また実験室に放置されていたサンプルは、思いがけなくもさびていなかった。そこでBreareleyは同鋼がさびない刃物として利用できるものと考え

た。このときイギリス特許は出願しなかったが、のちにアメリカ特許を出願し、1916年9月にCr9~16%Cr、C0.7%以下の鋼に対して特許を取得した。Breareleyが初めて刃物に使用した前記組成の鋼は今日のSUS420に相当し、かれはマルテンサイト系ステンレス鋼の発明者となった。

2.3 フェライト・ステンレス鋼の誕生<sup>2,9)</sup>

アメリカにおいては、General Electric社のC.Dantsienらが、1911年頃から電線用リード線としてFe-Cr合金の研究を行い、低Cの20Cr鋼を開発したが、それがDumet合金の出現により使用されなくなったので、のちの1914年にタービン翼材料に向けることを推奨した。その組成は、Breareleyの鋼よりもC含有量の低い0.07~0.15% C、14~16% Crで、これは今日のフェライト・ステンレス鋼SUS430の原形である。また。アメリカにおいてはステライト合金の発明で有名なH.Haynesが、Ni-Cr合金、Cr-Fe合金、Cr鋼についても研究し、1915年に、腐食しない金属製品として0.1~1% C、8~60% Cr (とくに15~25% Cr) のFe-Cr合金についてアメリカ特許を出願しており、アメリカにおいてはステンレス鋼の発明者と思われている。

3 ステンレス鋼に関する初期の発展

3.1 欧米における発展

3.1.1 オーステナイト・ステンレス鋼のその後の発展

Fried. Krupp社が開発したステンレス鋼のうち、とくにオーステナイト系のV2Aは、化学プラント向けとしてBASF (Badische Anilin- und Soda-Fabrik) 社などへ大量に納入された。しかし、同鋼は硝酸や蒸気存在下のアンモニア等では優れた耐食性を示したが、硫酸などの非酸化性酸に対する耐食性や溶接部の耐食性の改善が必要となった。表4にはFried.

表3 各種環境における重量減少の比較

鋼種	試験環境			
	大気	海水	常温10%硝酸	沸騰50%硝酸
軟鋼	100	100	100	100
5%Ni鋼	—	—	97	98
9%Ni鋼	70	79	—	—
25%Ni鋼	11	55	69	103
V1M* <sup>1</sup>	0.4	5.2	—	—
V2A* <sup>2</sup>	0	0.6	0	0

\*<sup>1</sup> 14Cr-2Ni-0.15C(マルテンサイト系)

\*<sup>2</sup> 20Cr-7Ni-0.25C(オーステナイト系)

各試験環境とも軟鋼の重量減を100とした。

Krupp社が出願したオーステナイト系ステンレス鋼の特許を示す。硫酸に対してはCu又はMoを添加したステンレス鋼の特許を1922年に出願し、粒界腐食防止には低C(0.07%以下)又はTi、Nb等を添加した改良鋼を、1928～1929年に特許出願した。さらに1936年には、MoとCuを複合添加した鋼を耐硫酸用に出願した<sup>26)</sup>。この最後の鋼はV16A(18Cr-20Ni-2Mo-2Cu)と名付けられ、これにより今日の耐食用オーステナイト系ステンレス鋼の基礎が確立されたといえよう。なお、オーストリアのGebr.Böhler社は1928年にTaを添加したCr-Ni鋼の特許を出願しているが、Taは当初は耐熱性向上のために添加され、のちに耐粒界腐食性改善を目的に添加された。

ドイツでV16Aが開発されたのち、アメリカにおいては1938年以降に高耐食用として、20Cr-30Ni-Mo-Cu鋼が開発され、これは20合金としてその後も改良を重ね、さらに20Cr-40Ni-Mo-Cu(Incoloy825)へと発展した。一方、オーステナイト系ステンレス鋼の基本であったV2A(20Cr-7Ni鋼)は耐食性以外に加工性、機械的性質などが考慮されて、その後の標準組成は18Cr-8Niとなったが、これは英独の会社が共同で検討した結果、イギリスでは18Cr-8Niが最適組成であると結論されたもので、1923年頃から製造されるようになり、1926年にはアンモニア合成装置に適用された<sup>10)</sup>。ただし、スプーンなどの洋食器の製作の際はクロス圧延するので硬化し、頻繁に中間焼なましを入れなければならなかったため、それ用に、加工硬化しにくい12Cr-12Ni鋼が1927年に開発された<sup>10)</sup>。

オーステナイト系ステンレス鋼、とくに18Cr-8Ni鋼(初期は20Cr-7Ni鋼)に関しては、化学工業以外にもあらゆる分野で用途の開拓が行われた。第一次大戦後のドイツでは表4中にも示したとおり、医療用の特許が出願されたが、1926年にはミュンヘンで開かれたビール醸造博覧会においてステンレス製の貯蔵タンクが展示され、さらにピア樽、貯蔵タンクとして多量出荷された。また、台所用品、洋食器への適用も積極的に進められた。建築分野では1922年頃から建築金物

への適用が進み、アメリカでは1929年に高さ319mのニューヨークのクライスラービルの塔部の外装をはじめ、その他の部材にも多くの18Cr-8Ni鋼が適用された<sup>6)</sup>。

### 3.1.2 オーステナイト・フェライト(2相)系ステンレス鋼の開発

2章で述べたとおり、第一次大戦(1914～1918年)開始までの1912～1914年の間に5種の系統のステンレス鋼のうち、オーステナイト系、マルテンサイト系およびフェライト系ステンレス鋼に関しては、基本的発明がなされたが、オーステナイト・フェライト(2相)系および析出硬化系ステンレス鋼の出現までにはやや年月を要した。

オーステナイト・フェライト・ステンレス鋼(以下2相ステンレス鋼と記す)は、1930年前後に北欧とフランスにおいて独立に開発されたとみられる。すでに存在していたオーステナイト・ステンレス鋼鋼物には少量のフェライト相が存在し、それが含まれると铸造性の改善、粒界腐食に対する鋭敏化の低減、さらに耐力の上昇などが認められていた。1924年にステンレス鋼の製造を始めたスウェーデンのAvesta社は、2相ステンレス鋼として1930年頃までに耐熱用の26Cr-5Ni(鋼種名453E)および耐食用の26Cr-5Ni-1Mo鋼(同453S)を市場に出した<sup>11)</sup>。C含有量は0.1%程度であったが、強度と耐粒界腐食性は優れることが認められ、とくに後者の鋼は亜硫酸を扱うパルプ工場に適用された。またフィンランドにおいては1930年に2相ステンレス鋼が製造され、1936年にフランス特許を取得している<sup>12)</sup>。

一方、フランスにおいては1933年にJ.Holtzer社がオーステナイト系の18Cr-9Ni-2.5Mo鋼を溶解しようとして、誤ってクロムを多量に添加したため、フェライト相を多く含む20Cr-8Ni-2.5Mo組成の鋼を製造してしまった。これが2相ステンレス鋼の初まりで、その鋼が耐粒界腐食性に優れることをUnieux研究所で見つけた<sup>13)</sup>。その後Moを含む2相ステンレス鋼はアメリカでAISI329として規格化され、第二次大戦後世界に広まっていった。

表4 Fried.Krupp社が出願した耐食用オーステナイト・ステンレス鋼のドイツ特許

出願年	特許番号	性質または用途	成分の特徴
1912	304,159	耐食性	15～40%Cr, 20～4%Ni, 1%以下C(基本特許)
1919	355,610	医療用	—
1919	356,631	医療用	—
1922	395,044	耐食性	18～24%Cr, 7～20%Ni, 2～6%Cu
1922	399,806	耐食性	18～30%Cr, 4～20%Ni, 2～4%Mo
1928	561,160	耐粒界腐食性	C 0.07%以下
1929	614,646	耐粒界腐食性	Ti または V 添加
1930	643,444	耐粒界腐食性	Nb または Nb+Ta 添加
1936	747,301	高耐食性	Mo+Cu 添加

### 3.1.3 析出硬化系ステンレス鋼の開発

析出硬化系ステンレス鋼の開発経緯は不詳であるが、ステンレス鋼の高力化に関しては1930年代後半から研究されていた。析出硬化系ステンレス鋼として市場に初めて現れた時期は1945～6年で、アメリカのUS Steel社が製造したStainless W (17Cr-7Ni-Ti-Al) が最初である<sup>14)</sup>。同鋼は第二次大戦中にすでに航空機材料として利用されていたが、戦時機密で発表が抑えられていたため、戦後に発表されたものであろう。その後、同じくアメリカのArmco Steel社が1949年にマルテンサイト系の析出硬化系ステンレス鋼17-4PH鋼 (17Cr-4Ni-4Cu-Nb) を、1950年にセミ・オーステナイト系の17-7PH鋼 (17Cr-7Ni-1Al) を開発し<sup>3)</sup>、その後は主にアメリカが中心となって多く析出硬化系ステンレス鋼が開発されるようになった。

### 3.2 日本における初期の発展

2章で述べたように、ステンレス鋼が開発され、製造され始めたのは1912～1914年の欧米においてであるが、日本でもすでに1915年に文献等で知られていた。日本においてステンレス鋼に関連した初期の発展をまとめて表5に示す。横須賀海軍工廠では1915年に排出弁用としてステンレス鋼が試作されていたが<sup>15)</sup>、本格的にステンレス鋼の製造実験に取り組んだのは呉海軍工廠の製鋼部である。同所では1916年に潜水艦用砲身・砲架材料としてるつぼ炉による13Cr鋼の製造に着手し、1918年からはエルー式電気炉により潜水艦用の回転盤 (こん輪盤) 等を製造した<sup>16)</sup>。低Cの輸入フェロクロムは高価なので5%Cのフェロクロムを用いて転炉で0.3%Cとしたのち電気炉に移して精錬・成分調整をして、1919年にはBrearleyの最初の13Cr鋼とほぼ同成分の材料 (0.23C-0.24Si-0.31Mn-11.95Cr) を得ることができた。さらに同所では1920年に13Cr鋼のタービン翼を製作し、1925年には18Cr-8Ni鋼のこん輪盤を試作した<sup>16)</sup>。

一方、民間においては、1920年に八幡製鉄所が13Cr鋼を試作し、1923年には日本特殊鋼が13Cr鋼のタービン翼を製作するなど<sup>17)</sup>、13Cr鋼中心にステンレス鋼の研究および製造が行われ、1926年末までには13Cr鋼に関してはほぼ国産でまかなうことができるようになった。オーステナイト・ステンレス鋼に関しては、未だ輸入に頼っており、王子火薬廠では輸入の18Cr-8Ni鋼を用いて硝酸製造設備を建設した。しかし1927年頃から八幡製鉄所で18Cr-8Ni鋼の厚板が製造できるようになり、さらに他社でも可能になった。当時の国産の18Cr-8Ni鋼の適用例として有名なのは、1931年に大阪の朝日新聞社が創立50周年記念に大阪中之島に10階建てビルを建設した際、1～3階の外装 (腰板) に京都の川那辺製鋼所と日本特殊鋼が溶解し、川崎造船所で厚さ3mm×幅1mに圧延した板材が適用されたことである<sup>18)</sup>。これは、ビルの一部ではあるが、ステンレス鋼板による外装の第一号で、しかも国産材料であった。後年、部分的には新しい板と交換されているが、未だ初期のステンレス板が利用されている部分もある。

1932年にはステンレス鋼製造に不可欠な低Cフェロクロムも国内で製造できるようになったため<sup>19)</sup>、生産量は拡大した。この頃から主にステンレス鋼の製造を専業とする会社も設立され、とくに18Cr-8Ni系のオーステナイト・ステンレス鋼は硝酸設備、硫酸設備、パルプ工業などに適用された。しかし戦時中は航空機用耐熱鋼など軍の需要が主なものであった。1941年6月にニッケル禁止令が発令されると軍・民間ともにCr-Mn系、Cr-Mn-N系の無Niオーステナイト・ステンレス鋼が検討された<sup>20)</sup>。ステンレス鋼の生産量は、軍用が多かったが、1936年1,864トン、1941年8,453トン、終戦前の1944年には15,781トンまでになった<sup>21)</sup>。

表5 日本におけるステンレス鋼の初期の発展

1915年	横須賀海軍工廠造機部でステンレス鋼排出弁試作
1916年	呉海軍工廠製鋼部で潜水艦用砲身・砲架用13Cr鋼をるつぼ炉で製造
1918年～	同部でエルー炉による13Cr製潜水艦用こん輪盤等の生産および規格制定
1920年	八幡製鉄所で13Cr鋼試作
1920年	呉海軍工廠製鋼部で13Cr鋼タービン翼製造
1923年	日本特殊鋼で13Cr鋼タービン翼製造
1925年	呉海軍工廠製鋼部で18Cr-8Ni鋼の潜水艦用こん輪盤試作
1926年	国産13Cr鋼の製造技術確立
1927年	八幡製鉄所で18Cr-8Ni鋼の厚板製造
1928年	ドイツ製18Cr-8Ni鋼を軍で使用、王子火薬廠で硝酸設備製作
1931年	朝日会館ビル(大阪)に国産18Cr-8Ni鋼板使用
1932年	低炭素フェロクロムの工業規模生産
1934～6年	ステンレス専業3社でステンレス鋼の生産開始

## 参考文献

- 1) J.H.G.Monypenny : Stainless Iron and Steel, 2<sup>nd</sup> Ed., Chapman & Hall, London, (1931)
- 2) Von H.Krainer : Stahl und Eisen, 82 (1962) , 1527.
- 3) 鈴木隆志 : ステンレス鋼の発明, アグネ技術センター, (2000)
- 4) JIS G0203.
- 5) ISO/TS15510.
- 6) E.von Schack : Blech · Rohre · Profile, 9 (1982) , 494.
- 7) E.E.Thum : The Book of Stainless Steels, ed. by E.E.Thum, ASM, Cleveland, (1935)
- 8) Mater.Perf., 26 (1990) 3, 64.
- 9) 種野太郎 : ステンレス, 32 (1988) 3, 2.
- 10) Metallurgia, 63 (1963) 470, 106.
- 11) M.Liljas : Proc. 6<sup>th</sup> European Stainless Steel Conference – Science and Market –, (2008) , 535.
- 12) International Molybdenum Association : Practical Guidelines for the Fabrication of Duplex Stainless Steels, 2<sup>nd</sup> Ed., (2009)
- 13) J.Charles : Duplex Stainless Steels Vol.1, ed. by J.Charles & S.Bernhardsson, (1991) , 3.
- 14) Metals Handbook 9<sup>th</sup> Ed., ASM, Ohio, 3 (1980) , 3.
- 15) 三浦良知 : ステンレス, 8 (1964) 9, 42.
- 16) 山本尚義 : ステンレス, 8 (1964) 9, 27, および 8 (1964) 10, 31.
- 17) 三浦良知 : ステンレス, 9 (1965) 9, 38.
- 18) 三浦良知 : ステンレス, 9 (1965) 4, 26.
- 19) 三浦良知 : ステンレス, 8 (1964) 10, 50.
- 20) 藤田輝夫 : 特殊鋼, 8 (1959) 1, 66.
- 21) ステンレス, 11 (1967) 2, 4.

ステンレス協会発行 (2011年3月) の細井祐三監修「ステンレス鋼の科学と最新技術ーステンレス鋼100年の歩みー」から一部修正して転載したものである。

(2010年10月1日受付)