

軸受用材料の変遷

History of the bearing steel

キーワード

軸受鋼，転動疲労寿命，VAR，ESR，真空脱ガス処理，冷間ローリング，
(SUJ2FH)，(MT21 鋼)

部品事業部 技術一部

福田 和人

■ 摘要

現在軸受用材料の主流である高炭素クロム軸受鋼は、1%C-1.5%Cr という単純な組成であり、ヨーロッパで生まれて1世紀近くとなるが基本組成はほとんど変わっていない。当社においても、1939年の軸受の製造開始とともに軸受鋼の製造も同時に開始しており、製鋼から製品までの一貫生産体制をとってから60年余りとなる。その間の軸受鋼の進歩はめざましいものがあり、新しい世紀を迎えるにあたって、当社と軸受鋼の関わりを中心に軸受鋼の歩みを記録にとどめてみた。

■ Abstract

High carbon chromium bearing steels, which are the most popular bearing material in these days, have simple compositions such as 1% carbon and 1.5% chromium. About a century has passed since they were born in Europe but the basic composition has hardly changed.

Over 60 years ago, NACHI started manufacturing the bearing steel and bearings, a consistent manufacturing from material to products, in 1939.

The improvement of the bearing steel has been remarkable.

At the beginning of a new century, We report the history of bearing steel based on the relation between our company experience and the bearing steel.

1. 軸受鋼の芽生え (~1945年)

1.1 軸受製造当初の状況

海軍からの強い要望で当社が軸受の試作を開始したのは、1938年(昭和13)であり、その時の材料はドイツより輸入したものであった。その頃には既に国産軸受鋼は存在していたが、品質は輸入材に遠く及ばないものであった。1939年(昭和14)にラジアル玉軸受の量産を開始すると同時に当社東富山製鋼所(現マテリアル製造所)にて軸受鋼の生産を開始するに至り、当社製鋼材を主力に使用するようになった。しかしその品質は現在の品質から見ると極めて劣っており、中でも圧壊値は規格に決められた4トン以上に達することはほとんどなく、また顕微鏡組織においても著しい偏析やネット炭化物が残っていたりした。更には白点の発生する鋼材もしば

しば見受けられた。これらの問題に対し当社の技術陣が原料、製鋼法、熱処理法などについて改良を行なった研究報告が残っているが、戦時中の原料事情により品質の向上は思うように進まなかった。

1.2 当時の軸受鋼の規格

当時の軸受鋼の単独規格としては1937年(昭和12)に陸海軍航空材料規格第16号、第17号及び第18号として規定されている。この規格はそれ以前の規格(昭和3年陸軍規格、昭和4年の海軍規格)に比べ充実した内容であったが、化学成分以外では軸受鋼として重要な非金属介在物や地きずなどが規定されておらず、機械的性質のみの規定にとどまっている。(表1, 2)

また、1941年(昭和16)には初めて国家規格として臨時日本標準規格(臨JES)226号、227号が

表 1 戦前・戦中の軸受鋼の規格（化学成分）

制定年度	規格名称	種類	記号	化学成分							
				C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Mo
1937年 (昭和12)	陸海軍航空材料規格 第16,17,18号	高炭素 高クロム鋼	イ501	0.95 ~1.15	0.35 以下	0.60 以下	0.030 以下	0.030 以下	1.20 ~1.80	0.35 以下	0.50 以下
		高炭素 低クロム鋼	イ502	0.95 ~1.10	0.35 以下	0.60 以下	0.030 以下	0.030 以下	0.50 ~0.70	—	—
1941年 (昭和16)	臨時日本標準規格 226,227号	軸受球鋼	SCr10	0.90 ~1.10	0.35 以下	0.50 以下	0.030 以下	0.030 以下	0.80 ~1.20	—	—
		軸受球鋼	SCr14	0.90 ~1.10	0.35 以下	0.50 以下	0.030 以下	0.030 以下	1.20 ~1.60	—	—
		軸受輪鋼	SCr14A	0.95 ~1.15	0.35 以下	0.60 以下	0.030 以下	0.030 以下	1.20 ~1.60	0.35 以下	0.50 以下
1943年 (昭和18)	海軍航空本部仮規格 8116号	特殊高炭素 クロム鋼	特イ501	0.90 ~1.05	0.35 以下	0.60 以下	0.025 以下	0.035 以下	0.95 ~1.40	—	—

表 2 戦前・戦中の軸受鋼の規格（化学成分以外）

制定年度	記号	焼鈍硬さ	引張試験			衝撃値 kgm/cm ²	焼入焼戻し 硬さ (HRC) (注1)	圧壊値 (kg) (注2)
			引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)			
1937年	イ501	200HB以下	70以下	20以上	30以上	—	63以上	4000以上
	イ502	201HB以下	70以下	25以上	—	4以上	55~63	—
1941年	SCr10	95HRB以下	75以下	25以上	—	—	—	—
	SCr14	95HRB以下	75以下	25以上	—	—	—	—
	SCr14A	201HB以下	—	—	—	—	63以上	4000以上
1943年	特イ501	201HB以下	75以下	25以上	30以上	—	63以上	—

(注1) 焼入れ 800~850°C 油冷, 焼戻し 200°C 以下

(注2) 外径Φ80×内径Φ60×幅20mmの鍛造リング

表 3 当社の戦時中の軸受鋼規格

制定年度	規格名称	記号	化学成分 (%)								
			C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Mo	Cu
1942年 (昭和17)	軸受用鋼材	SA1	0.95 ~1.15	0.35 以下	0.60 以下	0.030 以下	0.030 以下	1.20 ~1.80	0.35 以下	0.50 以下	0.20 以下
		SA2	0.95 ~1.10	0.35 以下	0.60 以下	0.030 以下	0.030 以下	0.90 ~1.20	0.35 以下	0.50 以下	0.20 以下
		SA3	0.95 ~1.10	0.35 以下	0.60 以下	0.030 以下	0.030 以下	0.50 ~0.70	0.35 以下	0.50 以下	0.20 以下

備考(1) 非金属介在物, 結晶粒度, 地きずは学振19小委員会判定法による

(2) 顕微鏡組織, 機械的性質は別に定める基準による

規定された。その後1943年(昭和18)には海軍航空本部仮規格8116号が制定され、それには新たに非金属介在物, 地きず, 顕微鏡組織の標準写真, マクロ組織などが追加された。これらの規格は、戦後日本工業規格としてJIS G 4805の高炭素クロム軸受鋼が制定されるまで品質仕様の基礎となった。

当社でも1942年(昭和17)に上記陸海軍航空材料規格や臨時JESに準じた社内規格が制定されている。これには、SA1~SA3の3鋼種が規定されており、製品の重量によりクロムの少ない鋼種と多い鋼種を使い分けしている。また化学成分以外の規定項目として学振19小委員会による非金属介在物, 結晶粒度, 地きずなどが定められているほか、焼鈍組織の判定写真, 機械的性質などが規定されていた。(表3)

2. 軸受鋼の成長 (1945~1965年)

2.1 製鋼法の改良

戦後初期においては、原材料の品質が劣っていた

表 4 原料配分率と不純物及び鋼中ガス含有量の関係

原料配分率 (%)				不純物 (%)		鋼中ガス含有量(ppm)	
返り屑	市場屑	砂鉄銑	海綿鉄	Ni	Cu	O ₂	N ₂
30	50	20	—	0.09	0.16	62	54
50	—	—	50	0.08	0.09	48	52
—	—	50	50	0.06	0.04	25	46

こともあり、軸受鋼の品質は非常に低く、海外製の軸受鋼に比べ遠く及ばなかった。1950年(昭和25)頃になって、海外では原材料の鉄鉱石は純度の高いものを使用し、かつ酸性平炉にて溶解しているため、不純物, 含有ガスが少ないことがわかった。当社においてもそれらに似た製鋼法の開発が進められ原材料として、海綿鉄や銑鉄の配合比率を高め、返り屑や市場屑を減らすことで不純物を減少させた。(表4)

また特殊溶解法として真空溶解法が戦後開発された。この方法は高真空中で鋼を溶解する方法で、誘導溶解法と消耗電極法(真空アーク再溶解法:VAR)とがある。この溶解法によると非金属介在物や含有

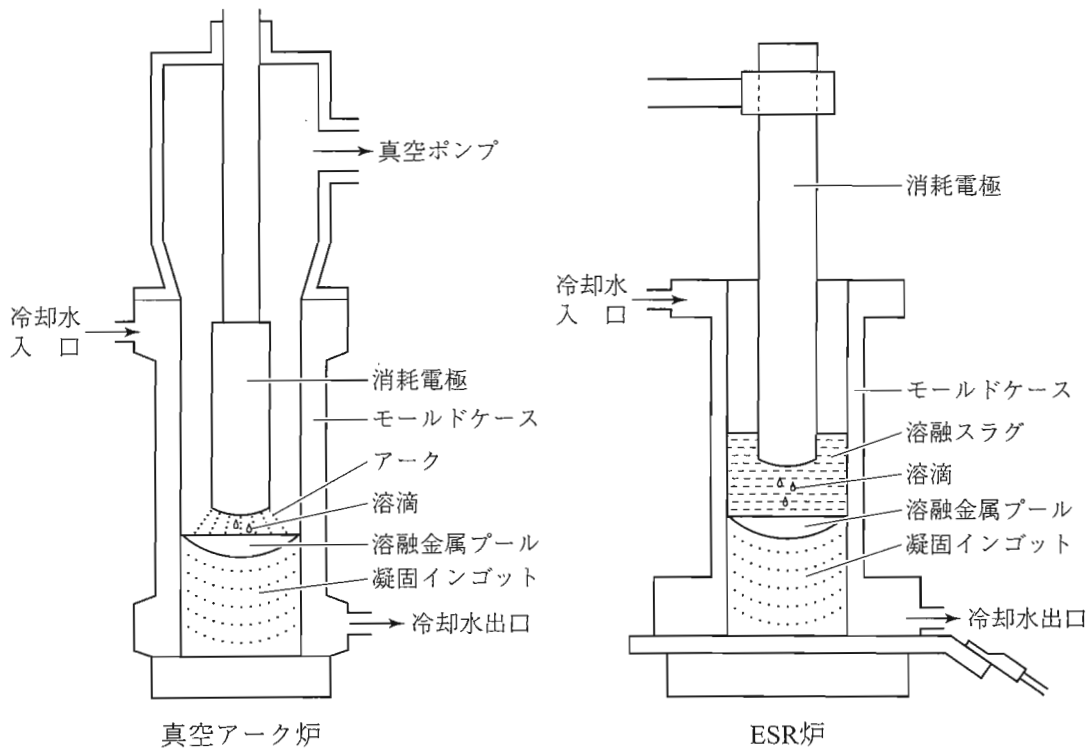


図1 特殊溶解炉

表5 当時の真空溶解鋼（真空アーク再溶解鋼）の品質例

種類	特性		鋼中ガス含有量 (ppm)				非金属介在物量 (JIS法) (%)			
	酸素量	窒素量	A	B	C	Total				
真空アーク溶解前	33	78	0.029	0.025	0.033	0.087				
真空アーク再溶解後	6	64	0.017	0.004	0.008	0.029				

ガス量が大幅に低減でき、軸受の転動疲労寿命を飛躍的に向上させた。当社でも、1962年（昭和37）に容量1トンの真空アーク溶解炉を設置し製鋼を開始した。真空アーク再溶解法は大気中で溶解した軸受鋼を電極としてアーク熱により再溶解し、溶滴が 10^{-6} トールの真空中を落下するときに脱ガス反応を行なうものである。この設置の大きな狙いの一つは、1964年（昭和39）に開業する新幹線車軸用軸受のころ用材料として真空アーク再溶解材を使用することにあった。当社が自主的に採用したものであったが、この優れた耐久性能が認められ、以後新幹線の車軸用軸受のころには真空アーク再溶解材を用いるように国鉄の仕様書が改められた。ただこの溶解法は操業上コスト高となり、量産にも不向きであるため、主として高い信頼性が必要とされる用途の軸受のみに適用された。（表5）（図1）

2.2 新鋼種の開発

また一般材においても品質向上のため研究が盛ん

に行われ、当社でも新しい鋼種、製鋼方法が開発された。まず1955年（昭和30）にボールの寿命向上を目的にバナジウムを0.15～0.25%添加した軸受鋼（SUJ2V）が開発され、ボール用にはすべてこの軸受鋼が使用された。バナジウムは脱酸、脱窒の作用があるほか、結晶粒を微細化する利点を持ち、また焼入感受性が鈍いため熱処理を容易にし、軸受の品質を高めた。この軸受はN溶解軸受鋼（SUJ2N）が開発されるまで用いられた。

N溶解軸受鋼は1961年（昭和36）に開発され、当社軸受が海外でも好評を博した。前述のように、非金属介在物量においては製鋼法の改良により、海外製に劣らない軸受鋼の製造は可能となったが、転動疲労寿命においては今一步の感であった。そこで単に非金属介在物の量を減少させることばかりでなく、介在物の種類によっては寿命に害を及ぼさないものがあることに注目し開発されたものがN溶解軸受鋼である。この製鋼法はSKF社の酸性平炉法を改良した酸性アーク炉法により、鋼浴中のシリコンによる自己脱酸を主体とした方法で、鋼中酸素量を極力減らすとともに、強制脱酸剤であるアルミニウムによる有害なアルミナの生成を減少させ、介在物の様態を変え、転動疲労寿命の向上を図ったものである。この軸受鋼は、1967年（昭和42）に真空脱ガス軸受鋼の出現によって姿を消した。なおこの

N 溶解鋼の名前は、開発の段階でいくつもの溶解材を試作したが、A, B, C...の順番で記号をつけており、N 番目の開発鋼であったため N 溶解鋼と名づけられた。(図 2)

2.3 加工法の開発

軸受鋼の改良は製鋼法のみならず加工法にも手が加えられた。当社は工具鋼製造の鋼板製造設備を利用して 1956 年 (昭和 31) に鋼板から軌道輪を製造する技術を開発した。軸受の疲労寿命向上には軸受鋼の鍛練比を上げればよいことがわかり、鋼塊の大形化を図るとともに、鍛造圧延して 3~15mm の鋼

板から軌道輪を製造することを考えた。この方法は焼鈍を施した鋼板をドーナツ型に打ち抜き、これを熱間で輪状に絞り出す方法である。この加工方法による軸受は鍛練比の増大により鑄造組織を破壊し、材質を緻密にすることで強度と靱性が増し、耐久寿命も長くすることが可能となった。

2.4 当時の軸受鋼の規格

戦後の軸受鋼の規格は 1947 年 (昭和 22) に日本標準規格 (JES) 金属 4805 が制定され、初めて SUJ (Steel Use 軸受) という鋼種記号が現れ、今でもこの記号が採用されている。この規格は戦時中の臨 JES が正式に JES となったものであるが、JES がすべて JIS に改訂されることになったのに伴い、1950 年 (昭和 25) には JES 金属 4805 は、JIS G 4805 に改訂された。この改訂では、新しく焼入性のよい 1% C-1.1% Cr-1% Mn を基本組成とした SUJ3 が追加されている。JIS G 4805 は 1953 年 (昭和 28) と 1961 年 (昭和 36) に改訂されているが、その際の変更点は、機械的が削除され、参考値ではあるが非金属介在物、地きずの数値化がなされている。なお 1965 年にも改訂されているが、分析法の追加のみで、概略は 1961 年改訂と同じである。(表 6, 7)

当社では 1951 年 (昭和 26) に JIS G 4805 に準拠して軸受鋼の材料規格が制定されたが、鋼種記号は SUJ ではなく、CrS1~CrS3 と規定されている。ま

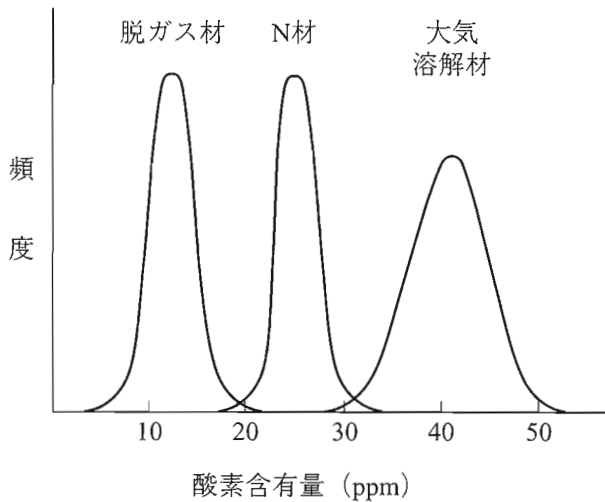


図 2 鑄造法と酸素量

表 6 戦後~昭和 30 年代までの軸受鋼の規格 (化学成分)

制定年度	規格名称	種類	記号	化学成分 (%)							
				C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Mo
1947 年 (昭和 22)	日本標準規格 (JES)金属 4085	軸受鋼 1 種	SUJ1	0.90 ~1.10	0.15 ~0.35	0.50 以下	0.030 以下	0.030 以下	0.80 ~1.20	—	—
		軸受鋼 2 種	SUJ2	0.95 ~1.15	0.15 ~0.35	0.50 以下	0.030 以下	0.030 以下	1.20 ~1.60	0.35 以下	0.50 以下
1950 年 (昭和 25)	日本工業規格 (JIS)G 4805	高炭素クロム 軸受鋼 1 種	SUJ1	0.90 ~1.10	0.15 ~0.35	0.50 以下	0.030 以下	0.030 以下	0.80 ~1.20	0.30 以下 *1	0.35 以下 *1
		高炭素クロム 軸受鋼 2 種	SUJ2	0.95 ~1.15	0.15 ~0.35	0.50 以下	0.030 以下	0.030 以下	1.20 ~1.60	0.30 以下 *1	0.35 以下 *1
		高炭素クロム 軸受鋼 3 種	SUJ3	0.90 ~1.10	0.30 ~0.65	0.90 ~1.10	0.030 以下	0.030 以下	0.90 ~1.20	0.30 以下 *1	0.35 以下 *1
1953 年 (昭和 28)	日本工業規格 (JIS) G 4805	高炭素クロム 軸受鋼 1 種	SUJ1	0.95 ~1.10	0.15 ~0.35	0.50 以下	0.030 以下	0.030 以下	0.90 ~1.20	—	—
		高炭素クロム 軸受鋼 2 種	SUJ2	0.95 ~1.10	0.15 ~0.35	0.50 以下	0.030 以下	0.030 以下	1.30 ~1.60	—	—
		高炭素クロム 軸受鋼 3 種	SUJ3	0.95 ~1.10	0.40 ~0.70	0.90 ~1.15	0.030 以下	0.030 以下	0.90 ~1.20	—	—
1961 年 (昭和 36)	日本工業規格 (JIS) G 4805	高炭素クロム 軸受鋼 1 種	SUJ1	0.95 ~1.10	0.15 ~0.35	0.50 以下	0.030 以下	0.030 以下	0.90 ~1.20	0.25 以下	0.25 以下 *2
		高炭素クロム 軸受鋼 2 種	SUJ2	0.95 ~1.10	0.15 ~0.35	0.50 以下	0.030 以下	0.030 以下	1.30 ~1.60	0.25 以下	0.25 以下 *2
		高炭素クロム 軸受鋼 3 種	SUJ3	0.95 ~1.10	0.40 ~0.70	0.90 ~1.15	0.030 以下	0.030 以下	0.90 ~1.20	0.25 以下	0.25 以下 *2

*1: 球用材の場合は、Ni, Cu とも 0.25% 以下

*2: コイル材の場合は、Cu は 0.20% 以下

た、JIS には制定されていなかった非金属介在物、地きずの規格値、及びマクロ組織、顕微鏡組織の判定基準写真が示されていた。その後 1956 年（昭和 31）に JIS 改正に対する社内準備体制が整い全面的に規格改正され、社内的にも鋼種記号が SUJ に改

められた。また前述のバナジウム添加鋼と軸受鋼鋼板は 1956 年（昭和 31）に、N 溶解軸受鋼と真空アーク再溶解鋼は 1961 年（昭和 36）に追加規定されている。（表 8, 9, 10）

表 7 戦後～昭和 30 年代までの軸受鋼の規格（化学成分以外）

制定年度	記号	焼鈍硬さ(HB)		引張試験		焼入焼戻硬さ(HRC)	圧壊値(kg)	備考
		熱間圧延材	冷間引抜材	引張強さ(kg/mm ²)	伸び(%)			
1947年 (昭和22)	SUJ1	201以下		75以下 ⁽³⁾	25以上 ⁽³⁾	—	—	(1) 輪用材のみ適用 (2) Φ50以上の輪用材に適用し、Φ80XΦ60X20の鍛造リングとする (3) 球用材のみ適用
	SUJ2					63以上 ⁽¹⁾	4000以上 ⁽²⁾	
1950年 (昭和25)	SUJ1	201以下		75以下 ⁽³⁾	25以上 ⁽³⁾	—	—	
	SUJ2					63以上 ⁽¹⁾	4000以上 ⁽²⁾	
	SUJ3					—	—	
1953年 (昭和28)	SUJ1	197以下	201以下	—	—	62以上	—	参考値 圧壊値 ⁽⁶⁾ 地きず ⁽⁶⁾ 非金属介在物 ⁽⁴⁾
	SUJ2							
	SUJ3							
1961年 (昭和36)	SUJ1	201以下	協定	—	—	62以上	—	参考値 圧壊値 ⁽⁶⁾ 地きず ⁽⁷⁾ 非金属介在物 ⁽⁵⁾
	SUJ2							
	SUJ3							

(4) 非金属介在物（1953年）参考値（旧学振法）

鋼材用途	介在物種類	清浄度	総平均厚さ(μm)	最大長さ(μm)
転動体用材	A	1	4	70
	B	2	4	—
軌道輪用材	A	1.5	5	100
	B	2.5	5	—

(5) 非金属介在物（1961年）参考値（JIS法）

介在物の種類	清浄度%
A	0.17以下
B+C	0.17以下
A+B+C	0.30以下

(6) 地きず（1953年）参考値

地きず長さ(mm)	0.1~0.4	0.5~0.9	1.0~1.9
地きず数(各段)	20	4	1

35Φを超える鋼材の場合は（鋼材の径-5）／30を乗じる

(7) 地きず（1961年）参考値（JIS法）

地きず長さ(mm)	0.5~1.0	1.0~2.0	2.0~4.0
地きず数(各段)	6	1.5	1.0

試験面積 100cm² についてロット平均

(8) (9) 圧壊値については省略（削り出しリングの各寸法で標準圧壊値記載）

表 8 当社の戦後～昭和 30 年代の軸受鋼の規格（化学成分）

制定年度	種類	記号	化学成分 (%)								
			C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	V
1951年 (昭和26)	軸受鋼1種	CrS1	0.90 ~1.10	0.15 ~0.35	0.50 以下	0.030 以下	0.030 以下	0.80 ~1.20	0.30 以下 *1	0.35 以下 *1	—
	軸受鋼2種	CrS2	0.95 ~1.15	0.15 ~0.35	0.50 以下	0.030 以下	0.030 以下	1.20 ~1.60	0.30 以下 *1	0.35 以下 *1	—
	軸受鋼3種	CrS3	0.90 ~1.10	0.30 ~0.65	0.90 ~1.10	0.030 以下	0.030 以下	0.90 ~1.20	0.30 以下 *1	0.35 以下 *1	—
1956年 (昭和31)	高炭素クロム軸受鋼1種	SUJ2	0.95 ~1.10	0.15 ~0.35	0.50 以下	0.030 以下	0.030 以下	1.30 ~1.60	0.30 以下 *1	0.35 以下 *1	—
	高炭素クロム軸受鋼2V種	SUJ2V	0.95 ~1.10	0.15 ~0.35	0.50 以下	0.030 以下	0.030 以下	1.30 ~1.60	0.30 以下 *1	0.35 以下 *1	0.15 -0.25
	高炭素クロム軸受鋼3種	SUJ3	0.95 ~1.10	0.40 ~0.70	0.90 ~1.15	0.030 以下	0.030 以下	0.90 ~1.20	0.30 以下 *1	0.35 以下 *1	—
	高炭素クロム軸受鋼2N種	SUJ2N	0.95 ~1.10	0.15 ~0.35	0.50 以下	0.030 以下	0.030 以下	1.30 ~1.60	0.25 以下	0.25 以下 *2	—
1961年 (昭和36)	高炭素クロム軸受鋼2L種	SUJ2L	0.95 ~1.10	0.15 ~0.35	0.50 以下	0.030 以下	0.030 以下	1.30 ~1.60	0.20 以下	0.10 以下	—
	高炭素クロム軸受鋼3種	SUJ3	0.95 ~1.10	0.40 ~0.70	0.90 ~1.15	0.030 以下	0.030 以下	0.90 ~1.20	0.25 以下	0.25 以下 *2	—
	高炭素クロム軸受鋼2L種	SUJ2L	0.95 ~1.10	0.15 ~0.35	0.50 以下	0.030 以下	0.030 以下	1.30 ~1.60	0.20 以下	0.10 以下	—
	高炭素クロム軸受鋼3種	SUJ3	0.95 ~1.10	0.40 ~0.70	0.90 ~1.15	0.030 以下	0.030 以下	0.90 ~1.20	0.25 以下	0.25 以下 *2	—

*1：球用材の場合は、Ni, Cuとも0.25%以下

*2：コイル材の場合は、Cuは0.20%以下

表9 当社の非金属介在物（昭和26年）規定（旧学振法）

鋼材の区分	介在物の種類					判定
	A			B		
	清浄度	平均厚さ(μm)	最大長さ(μm)	清浄度	平均厚さ(μm)	
転動体用	1以下	4以下	70以下	2以下	4以下	優
	3以下	6以下	70以下	3以下	6以下	良
	3.5以下	6以下	70以下	3.5以下	6以下	可
	3.5以上	6以上	70以上	3.5以上	6以上	不良
軌道輪用	2.0以下	5以下	100以下	3.0以下	5以下	優
	2.5以下	7以下	100以下	3.5以下	7以下	良
	3.0以下	7以下	100以下	3.5以下	7以下	可
	3.0以上	7以上	100以上	3.5以上	7以上	不良

表10 当社の非金属介在物（昭和36年）規定

鋼材の種類	清浄度 (%)		
	A	B+C	A+B+C
SUJ2, SUJ3 (一般)	0.17以下	0.17以下	0.30以下
SUJ2N (N溶解鋼)	0.10以下	0.07以下	0.17以下
SUJ2L (真空溶解鋼)	0.08以下	0.03以下	0.10以下

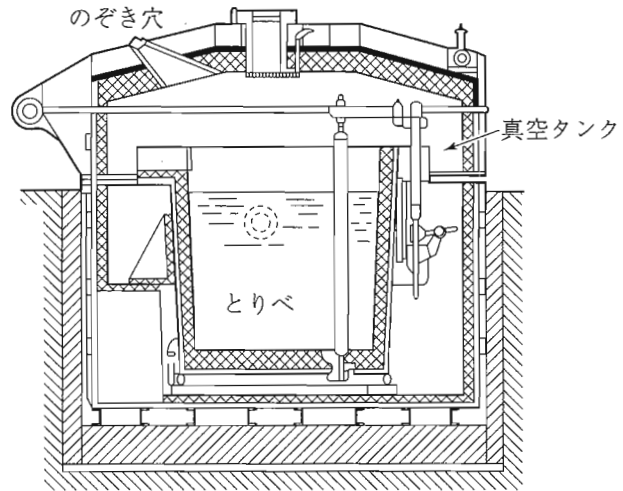
3. 軸受鋼の発展（1965～1980年）

3.1 品質の向上

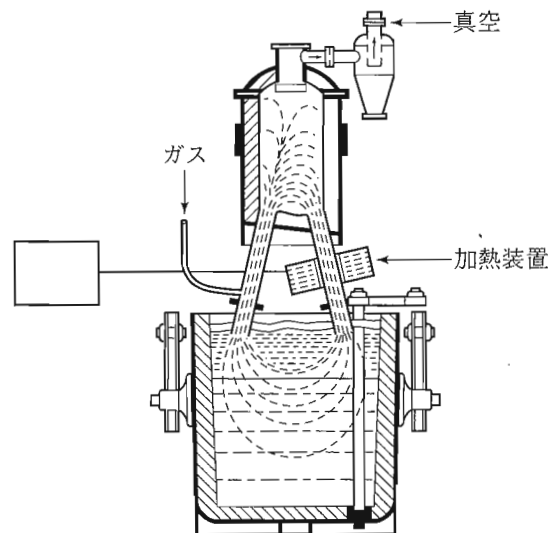
日本経済は戦後の低迷期を脱皮しモータリゼーションを中心とした発展によって軸受の量産化が要求された。軸受鋼は溶解炉の大型化が進められ、戦前・戦中は10トン前後の電気炉が使用されていたが、昭和30年代後半には30～60トン炉に大型化された。当社においても1961年（昭和36）に30トン炉が設置されて軸受鋼の生産量は飛躍的に増大するとともに、下注造塊法の採用により品質も向上した。

さらに疲労寿命の起点となる酸化物系介在物低減のための低酸素化技術が進められたが、その中で最も特筆される事柄が真空脱ガス処理である。真空脱ガス処理の原理は、溶鋼を取鍋中または取鍋へ移すとき真空にさらすことで、鋼中に含まれるガス（酸素、水素など）を除去する方法であり、取鍋脱ガス方式、RH方式など数種類の方式がある。日本でも昭和30年代には各鉄鋼メーカーに導入されている。これは真空脱ガス処理が鋼中の含有ガス量低減という品質向上だけでなく、精練時間短縮のために酸素を吹き込んで強酸化精錬を行なった鋼の脱酸に有効な方法であったため、品質面、生産量増大の面から真空脱ガス処理が短期間に普及したものである。またコスト的にも大気溶解鋼とほぼ同程度であったことも普及の要因となった。（図3）

当社では1967年（昭和42）に真空脱ガス装置を設置しており、ニューデパーチャー社（米）に軸受材料を供給しているリパブリック社（米）が採用している方法をもとに、日本真空技術㈱のハードと当社のソフトを合わせて開発したものである。この真



取鍋脱ガス方法



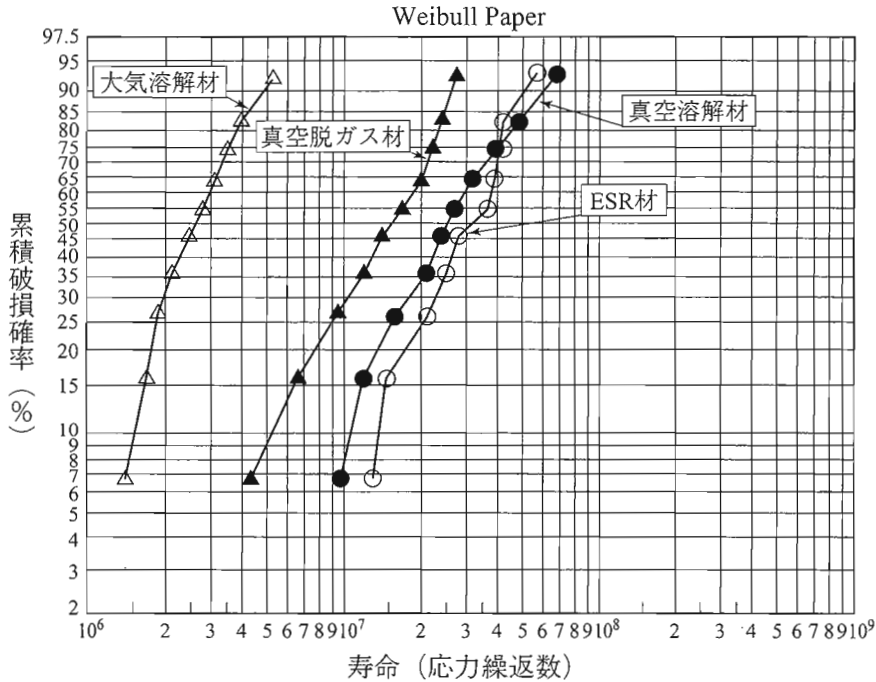
RH脱ガス方式

図3 真空脱ガス法

空脱ガス処理により非金属介在物、地きずは大幅に低減し、転動疲労寿命は3倍以上となった。1970年（昭和45）にはJISの製造方法に真空脱ガス処理を施すことが必須項目として規定された。（表11）（図4）

表 11 真空脱ガス処理鋼の品質の例 (当時)

種類	鋼中含有ガス量		非金属介在物 (JIS 法) (%)				地さず長さ (%)		
	水素 cc/g	酸素 ppm	A	B	C	Total	0.5~1.0	1.1~2.0	2.1 以上
大気溶解鋼	5	30-60	0.025~0.120	0~0.025	0~0.050	0.20 以下	2.0	0.7	0.15
真空脱ガス鋼	2	25 以下	0.017~0.050	0~0.008	0~0.012	0.06 以下	0.4	0.2	0



試料：SUJ円板 (φ60×6)
 回転数：600rpm
 荷重：スラスト荷重 (Pmax500kg/mm²)
 潤滑：スピンドル#60

図 4 軸受鋼の寿命試験結果

この画期的な製鋼法の改良 (真空脱ガス処理) と下注造塊への移行, 大型電気炉による量産体制確立により日本の軸受鋼は外国製軸受鋼に劣らない品質とコストとなったが, 更に高い品質を求めて改良された。それが先に述べた真空溶解法とエレクトロスラグ再溶解法 (ESR) によって達成された。

エレクトロスラグ再溶解法は, 真空溶解法の一つである真空アーク再溶解法と同じく一度大気中で溶解して製造された軸受鋼を電極として再溶解させる方法である。真空アーク再溶解と異なる点は, 真空中ではなく, フラックス (スラグ) 中で再溶解させる点で, スラグの抵抗熱で溶解した鋼がスラグ中を滴下するときにスラグと高温反応がおき不純物が除去される。この方法はスラグとの化学反応により効果が異なるので, スラグ及び操業条件の設定が大切である。当社では 1973 年 (昭和 48) に ESR 炉が設置されたが, 元々は工具材料の高速鋼を目的に設置されたものである。しかしロールスロイス社のジェットエンジン「アドア」の軸受用材料として AISI 規格 T1 (18%W-4%Cr-1%V 高速鋼) が

表 12 ESR 鋼の品質の例 (当時)

	鋼中含有ガス量	非金属介在物 (%)			
	酸素 (ppm)	A	B	C	Total
真空脱ガス鋼	14	0.038	0	0.004	0.042
ESR 鋼	19	0.017	0	0.004	0.021

ESR による製造を指定していたため, この製造に適用したものであるが, 高炭素クロム軸受鋼も ESR 法で製造したところ, 鋼中酸素量は低減しないが, A 系介在物を著しく減少させることが可能となり, 転動疲労寿命は真空脱ガス鋼に比べ 2.5 倍に延長することができた。(表 12)

3.2 加工法の改良

コスト低減のため, リング成形方法も改良された。前述のように昭和 30 年代初期には当社独自の鋼板からの軌道輪製造方法を開発したが, 歩留まりの向上のため, 昭和 30 年代終わりには, ハテバー社の熱間自動鍛造機が導入された。しかし導入初期には偏肉精度が大きいため, 思うようにコストが低減できなかった。そこで当社は 1965 年 (昭和 40) に熱間トランスファープレス方式による外内輪の共取り

加工方式を開発し中径軸受の軌道輪は全面的にこの方式で加工した。この方式は当初鋼板から製造されたが、1970年（昭和45）からはハテバー鍛造機と連結して棒材からの加工方式に改良された。またハテバー鍛造機で鍛造されたブランク材は、冷間鍛造により円すいころ軸受の外内輪も製造されるようになった。（図5）

また鋼管の採用によっても材料の歩留まりを向上することができた。当社では、1963年（昭和38）山陽特殊製鋼から鋼管の購入を開始した。この鋼管はユージン・セジュールネ方式による熱間押出鋼管であった。その後1970年（昭和45）には山陽特殊製鋼がアッセルミル方式による熱間圧延加工方式による製管方式を導入したため、外径50mm以上はこの方式のもの、50mm以下のものはユージン方式の鋼管を用いた。

3.3 軸受鋼の規格の状況

軸受鋼の規格は製鋼工程の進歩に目覚しいものがあったため、1970年（昭和45）に全般にわたって再検討された。先に述べたようにこの時真空脱ガス処理が必須となったが、同時にSUJ2とSUJ3にモリブデンを0.10～0.25%添加したSUJ4、SUJ5の2鋼種が追加された。その他非金属介在物についても見直しがされている。（表13、14）

当社ではJIS改正以前の1967年（昭和42）に規格を改正し真空脱ガス処理を規定していた。また1970年（昭和45）にはJIS改正に伴い、SUJ5を追加した。SUJ4については当社では使用しないので、この際の改訂には追加しなかった。また1978年（昭和53）にESRの軸受鋼への適用・量産を開始したため、材料規格として新たにESR材を制定している。

軸受輪材料取り工程

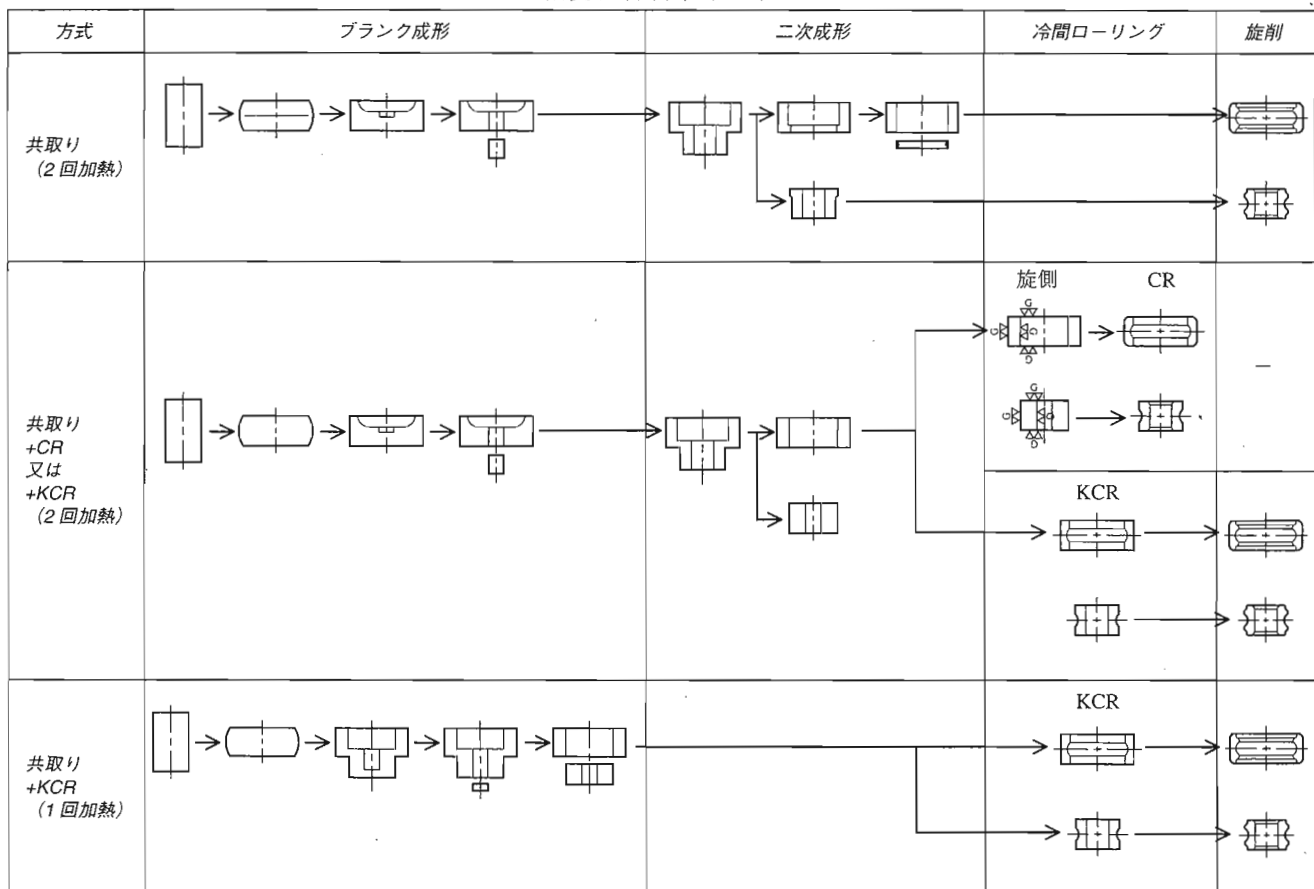


図5 成形加工法の改良

表 13 昭和 40 年代～現在までの軸受鋼の規格（化学成分）

制定年度	規格名称	種類	記号	化学成分 (%)							
				C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	その他
1970 年 (昭和 45)	日本工業規格 (JIS)G 4805	高炭素クロム 軸受鋼 1 種	SUJ1	0.95 ~1.10	0.15 ~0.35	0.50 以下	0.025 以下	0.025 以下	0.90 ~1.20	0.08 以下	Ni, Cu は各 0.25 以下 他の元素は 0.25 以下含 有してもよ い 但し線材の Cu は 0.20 以下
		高炭素クロム 軸受鋼 2 種	SUJ2	0.95 ~1.10	0.15 ~0.35	0.50 以下	0.025 以下	0.025 以下	1.30 ~1.60	0.08 以下	
		高炭素クロム 軸受鋼 3 種	SUJ3	0.95 ~1.10	0.40 ~0.70	0.90 ~1.15	0.025 以下	0.025 以下	0.90 ~1.20	0.08 以下	
		高炭素クロム 軸受鋼 4 種	SUJ4	0.95 ~1.10	0.15 ~0.35	0.50 以下	0.025 以下	0.025 以下	1.30 ~1.60	0.10 ~0.25	
		高炭素クロム 軸受鋼 5 種	SUJ5	0.95 ~1.10	0.40 ~0.70	0.90 ~1.15	0.025 以下	0.025 以下	0.90 ~1.20	0.10 ~0.25	
1990 年 (平成 2)	日本工業規格 (JIS)G 4805	—	SUJ1	0.95 ~1.10	0.15 ~0.35	0.50 以下	0.025 以下	0.025 以下	0.90 ~1.20	0.08 以下	Ni, Cu は各 0.25 以下 他の元素は 0.25 以下含 有してもよ い 但し線材の Cu は 0.20 以下
—		SUJ2	0.95 ~1.10	0.15 ~0.35	0.50 以下	0.025 以下	0.025 以下	1.30 ~1.60	0.08 以下		
—		SUJ3	0.95 ~1.10	0.40 ~0.70	0.90 ~1.15	0.025 以下	0.025 以下	0.90 ~1.20	0.08 以下		
—		SUJ4	0.95 ~1.10	0.15 ~0.35	0.50 以下	0.025 以下	0.025 以下	1.30 ~1.60	0.10 ~0.25		
—		SUJ5	0.95 ~1.10	0.40 ~0.70	0.90 ~1.15	0.025 以下	0.025 以下	0.90 ~1.20	0.10 ~0.25		
1999 年 (平成 11)	—	—	SUJ1	0.95 ~1.10	0.15 ~0.35	0.50 以下	0.025 以下	0.025 以下	0.90 ~1.20	0.08 以下	—

表 14 昭和 40 年代～現在までの軸受鋼の規格（化学成分以外）

制定年度	記号	焼き鈍し硬さ (HB)		非金属介在物 (%)			地きず	
		切削用熱間仕上	冷間引抜き・鍛造用	A	B+C	A+B+C	地きず長さ(mm)	地きず数 (平均)
1970 年 (昭和 45)	SUJ1	201 以下	協定	0.15 以下	0.10 以下	0.20 以下	地きず長さ(mm)	地きず数 (平均)
	SUJ2	201 以下					0.5~1.0	6.0 以下
	SUJ3	207 以下					1.0~2.0	1.5 以下
	SUJ4	201 以下					2.0~4.0	1.0 以下
	SUJ5	207 以下					4.0~	0
1990 年 (平成 2)	SUJ1	201 以下	協定	0.15 以下	0.05 以下	0.18 以下	地きず長さ(mm)	地きず数 (平均)
SUJ2	201 以下	0.5~1.0					5.0 以下	
1999 年 (平成 11)	SUJ3	207 以下					1.0~2.0	1.0 以下
SUJ4	201 以下	2.0~4.0					0.5 以下	
SUJ5	207 以下	4.0~					0	

4. 軸受鋼の完成期（1980 年～）

4.1 高潔度材料

真空脱ガス処理などの製鋼法の改善により、日本の軸受鋼の品質は世界のトップレベルとなったが、転動疲労寿命向上のために更なる品質向上が進められた。極低酸素化時代のはじまりである。

RH 脱ガス法の採用、溶損の少ない煉瓦の使用、鋳型内への不活性ガス封入など外的要因から混入する介在物を徹底して排除した結果、1970 年代後半には、鋼中酸素量のレベルは 10ppm 以下を達成することができた。さらに 1980 年代に入ると連続鋳造法によって酸素レベルはさらに低下した。鋼の連続鋳造法は昭和 20 年代に開発され、昭和 30 年代には日本にも導入されている。もともと鋼の歩留まり向上を狙いとしたものであったが、下注造塊に比べ断気が容易である、耐火煉瓦との接触が少なく外的要因の汚染が最小限にできることから酸素量低減には大きな効果があった。しかし連続鋳造の場合、下注造塊押湯を切り捨てる方法に比べ、不純物の平均

濃度は高くなり中心部に凝固するため、当初の連続鋳造材の偏析などの内部品質は造塊材より悪いものであった。その後連続鋳造法の研究開発が進み周辺技術の改善などにより近年では造塊材と同等の内部品質となった。連続鋳造材の軸受への採用は、当初内部品質が劣っていたことより、鋼管を中心に始まり、続いて棒材、そして鋼球用コイル線へも平成 2 年頃より採用された。コイル線への適用が遅れた理由は鋼球の極に現れる中心偏析が懸念されたためである。当社においても連続鋳造材を軸受に適用するかどうかが検討がなされた。当初各材料メーカーより持ち込まれた連続鋳造材は、酸素量は非常に低いものの中心偏析が著しいなどマクロ組織が造塊材より劣っており、スラスト型寿命試験においても当社造塊材より劣っていた。いろいろな調査、討議がなされた結果、1983 年（昭和 58）から材料の中心部をドリルで切削加工して製造されるユージン・セジュール法鋼管のみに限って軸受に適用することとした。その後、連続鋳造材の内部品質向上に合わせ、棒材へ適用、そして 1993 年（平成 5 年）にころ用コイ

ル線への適用を開始した。

当社でも脱ガス反応の促進，溶湯の再酸化防止を主体に高純度鋼の取り組みが行われてきた。当社製鋼材の場合，連続铸造は導入していないため 4~5ppm という極低酸素化は難しい面もあったが，ESR 材が酸素量が多くても転動疲労寿命が長いことを見てもわかるように，非金属介在物の大きさが寿命に大きく影響していることに着目し，1993 年に高純度鋼 SUJ2FH 材を開発した。SUJ2FH 材は電気炉出鋼後，スラグ組成を低融点に改質させることで，介在物の浮上促進，介在物の組成変更による軟質化

を図ったもので，従来と同一酸素レベルでも転動疲労寿命が大幅に向上した。(図 6)

4.2 加工法の改良

外内輪の共取り加工方式により，リング成形のコストは大幅に低減したが，1980 年代に入ってネットシェイプ化の動きがでてきた。当社では 1986 年に中径軸受を中心に冷間ローリングによるリングの製造 (CR) を開始した。CR は，熱間鍛造によって成形したリングの全面の黒皮を施削除去し，冷間ローリングにより旋削寸法通りの形状に仕上げる (シール溝，面取りも含め旋削加工なし) ものである。また 1990 年には大型の熱間多段鍛造機を導入したのに伴い，中大径軸受を中心に黒皮のまま冷間ローリングを行なう製造方法 (KCR) を開始した。KCR の場合は冷間ローリング後に旋削加工を施すが，材料歩留まりの向上，偏肉・真円度等の鍛造寸法品質の向上が図れた。

また CR, KCR によって製造された軸受は，従来の熱間鍛造のみで製造された軸受に比べ，転動疲労寿命が向上した。これは大きな非金属介在物が冷間加工により微細化されたためと思われる。(図 7)

また鋼管もコールドピルガーによる冷間加工が施されて寸法精度が向上し，薄肉軸受を中心に使用量が増え，旋削工程のコストダウンが図れた。

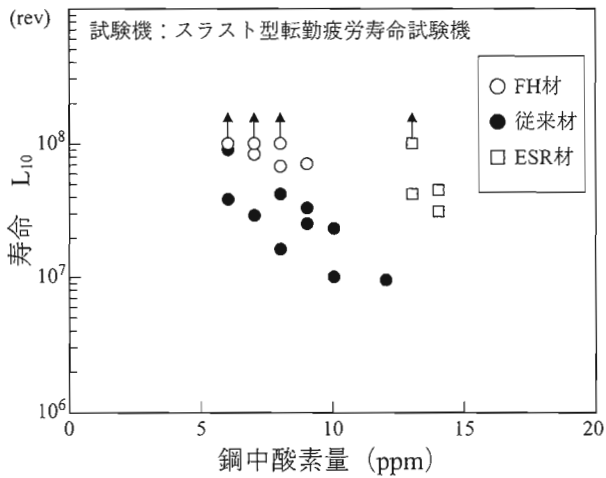


図 6 SUJ2FH 材の疲労寿命試験結果

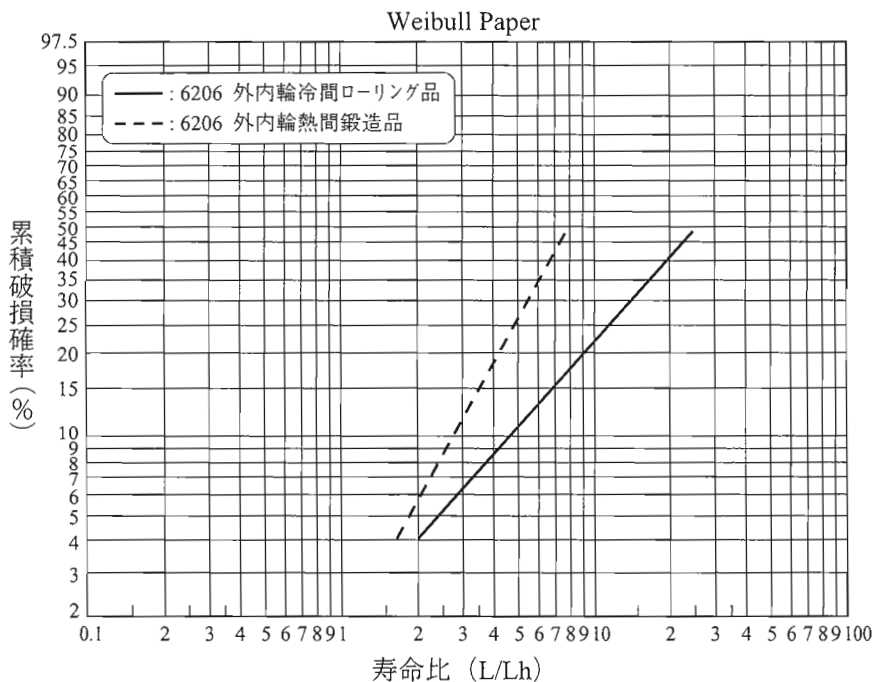


図 7 冷間ローリング品 (CR) の寿命試験結果

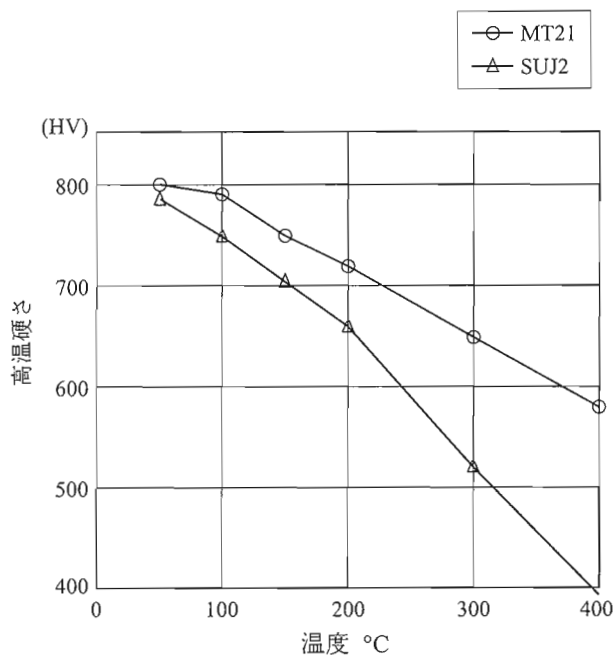


図 8 MT21 鋼の高温硬さ

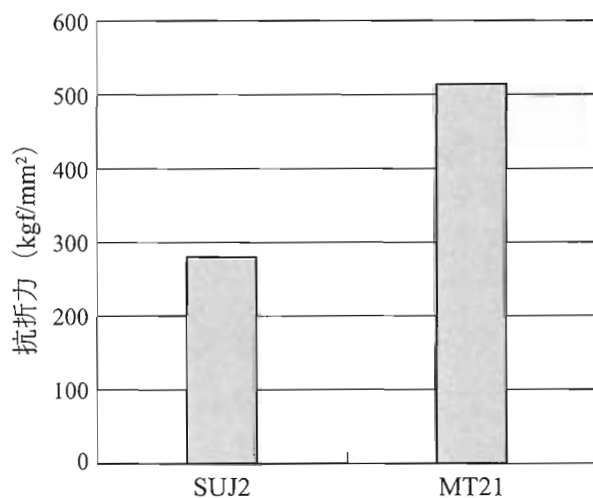


図 9 MT21 鋼の抗折力

4.3 新鋼種の開発

前述のように軸受鋼は品質の向上により、大幅に転動疲労寿命が向上したが、高温環境下、異物油中環境下など過酷環境下でも寿命向上が要求されたが、従来の 1% C-1.5% Cr 組成の高炭素クロム軸受鋼では不十分であった。当社では、準高温、高強度軸受鋼として 1991 年（平成 3）に MT21 鋼を開発した。組成は Cr-Si-Mo 系でずぶ焼入れでも性能は発揮するが、さらに浸炭窒化の表面改質を施すことで、異物油中、低粘度潤滑下でも大幅な寿命を向上させた高性能軸受鋼である。主に自動車のミッション系の軸受を中心に納入しており顧客に好評を博している。（図 8, 9, 10）

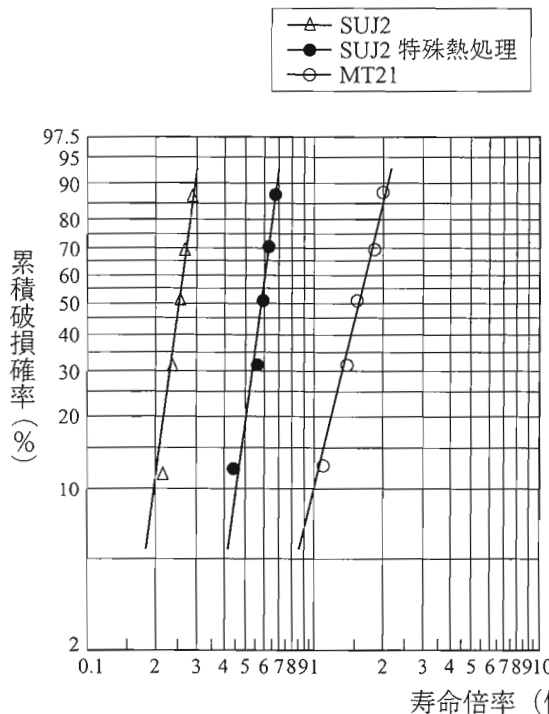


図 10 MT21 鋼深溝玉軸受の異物混入潤滑油中寿命試験

4.4 規格の状況

軸受鋼の規格は 1990 年（平成 2）に日本ベアリング工業会と日本鉄鋼協会の間で作成された原案をもとに改正が行われた。非金属介在物、地きずなど実際の品質に合わせて厳しい水準に変更されたのをはじめ、寸法許容差が片側公差から振り分け公差へ変更となったこと、さらに 1~5 種という名称が削除され、記号のみとなった。品質規定以外にも、製鋼方法の規定が変更された。既に昭和 60 年頃から高炉メーカーが転炉で軸受鋼の供給を始めていたため、「電気炉による」という記述が削除され、転炉による溶鋼と電気炉による溶鋼が同様な取り扱いとなった。また連続鑄造法もこの時の規格改正で公認されたものとなった。

1999 年（平成 11）の改正では、実質の変更はなく、規制緩和の一環として進められている JIS と ISO 規格の整合化のため、ISO/DIS 683-17 を翻訳してそのまま付属書として添付した改正である。当初の趣旨は JIS を ISO 規格に一致させる趣旨であったが、国内市場に混乱を生じさせてはならないことから翻訳を付属書として添付することのみとなった。

（ISO 規格では軸受用鋼として、ずぶ焼入鋼、肌焼入鋼、高周波焼入鋼、ステンレス鋼、高温用鋼の 5 タイプが規定されているが、JIS では、ずぶ焼入鋼に相当する高炭素クロム軸受鋼しか規定していなかったことが一致に至らなかった主な理由）

当社においては、鋼管の材料規格、高純度鋼の規格、MT21 鋼の規格などを新規に追加しており、また既に JIS, ISO の品質基準は十分に満足していたため、高炭素クロム軸受鋼については大きな改正は実施していない。しかし今後は極低酸素鋼の非金属介在物の評価方法などについて検討、追加を実施していく必要がある。

5. おわりに

1901 年（明治 34）に高炭素クロム軸受鋼が誕生して今年で丸 1 世紀となる。またちょうどベアリング工業会発行の雑誌「ベアリング」に軸受材料の変遷という原稿を寄稿したのを契機に不二越と軸受鋼の関わりを綴ってみた。世界に誇れる軸受鋼に育てた諸先輩方に敬意を表するとともに、この記録が今後の参考となれば幸いである。

なお、本文は雑誌「ベアリング」に寄稿した原稿をもとに削除、追加して作成したものである。

また、単位は当時の単位で記述した。

文 献

不二越 50 年史

日本精工 50 年史

山陽特殊製鋼(株) Sanyo Technical Report Vol.2(1995)No.1



福田 和人

1981 年 (株) 不二越に入社。
1999 年 9 月より部品事業部
技術一部、現在に至る。