

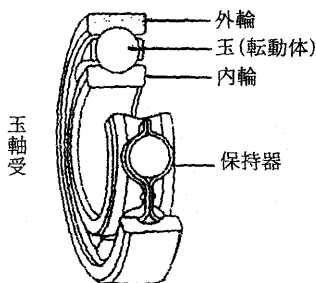
## ベアリング鋼球について (02・04・13)

松浦菊男(昭23・理)

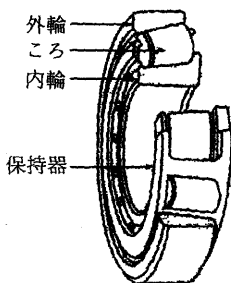
### はじめに

昭和23年理科卒業の松浦でございます。これから「ベアリング鋼球」についてお話しさせていただきます。

ベアリングは英語で Bearing と書きます。「耐えるもの」という意味で、専門語では「軸受」と訳されています。自動車とかモーター等、機械の回転部分にはこのベアリングが使用されております。自動車について考えますと、車体の重量に十分耐える強さを持つていなければなりませんし、スピードが出るためにはスムーズに回転しなければなりません。ベアリングにはこの二つの機能を満足しなければなりません。メタルを使用する場合もありませんが、最近は図0のようなベアリングが多く使用されております。ベアリングは外輪、内輪、保持器、転動体(鋼球、コロ)の四部分から成っており、転動体の種類によ



玉軸受



円錐ころ軸受

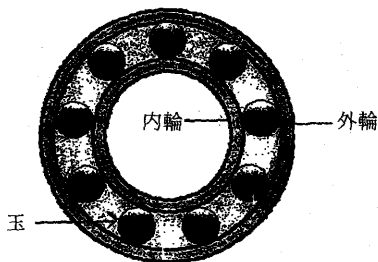


図 0

玉軸受、円筒ころ軸受、  
 円錐ころ軸受等がありますが、  
 転動体に鋼球を使用する玉軸  
 受が最も多く使用されていま  
 す。鋼球は非常にシンプルな  
 形状であり、パチンコ玉を連  
 想される方も多いと思います  
 が、詳細に分析すれば月とス  
 ッポンの違いがあります。地  
 球上で人工的に製作される物  
 の中で最も精度の高い物がベ  
 アリング鋼球と言われており  
 ます。鋼球をいろいろな角度  
 から解明してみたいと思いま  
 す。

最も典型的な製造方法は次の通りです。

1 球体成形

線材を一定の長さのピースに切断した後、球状に圧縮成形

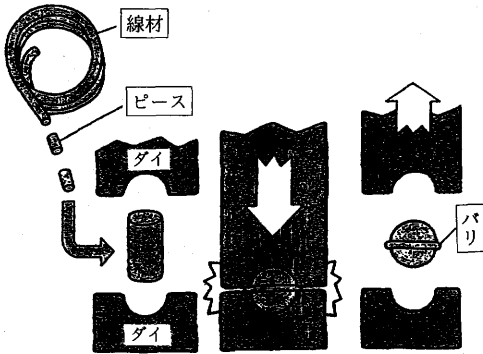


図1

線材—球体成型—フラッシング—熱処理  
—精研磨—第1ラッピング—第2ラッピング  
—洗浄—外観検査—包装

最初に図1に示すようにコイル状の線材を定寸のピースに切断し、向かい合った2ヶのダイスに挟み、力を加えて圧縮成型します。成型されるとバリのついた粗球ができてきます。

次いで図2に示すようなフラッシング機に送ります。この機械は溝のついた焼き入れされた固定盤と回転盤から成っていて、回転盤に加重されるようになっていて、成型されたバリのついた粗球はロット単位

## 2 フラッシング

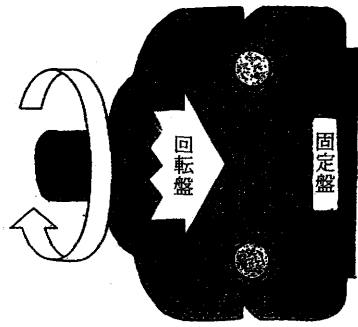


図 2

(二〇〇kg〜四〇〇kg)に一纏めにされ、固定盤と回転盤の中に送り込まれ、一定時間加重を繰り返し、バリを除去されて鋼球に成型されます。

次に図3に示されるような焼入炉に入れ、一定温度、一定時間保持後、水中或いは油中で焼入れし、その後焼戻しを行います。これにより十分な硬さと靱性を持った鋼球に変質します。

次に図4に示すような精研磨・第1ラッピング工程・第2ラッピング機に送って加工します。この3工程の機械の加工メカニズムは同じです。溝のついた固定盤、回転盤、シュート、コンベアから成っていて、回転盤に荷重をかける機構になっています。コンベアのボールはシュートを通して盤中に送られ加工された後に元のコンベアに返されます。この動作を繰り返し、一定時間加工されます。粗研磨、第1ラッピング・第2ラッピングの相違は、盤の材質、盤の回転速度、盤の荷重、研磨材、研磨油等が異なっており、各工程に適切なものが選択されます。各工程に加工された鋼球は精度、光沢が後工程になるほど優れ、第2ラッピングで加工は完了します。

### 3 熱処理

焼入れ、焼もどしを行って、十分な強度と耐久性を与えます

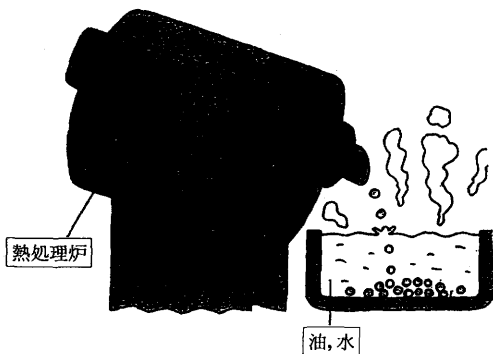


図 3

### 4 研削・ラッピング (第1, 第2) (精研磨)

寸法密度と仕上げ面精度を向上させます

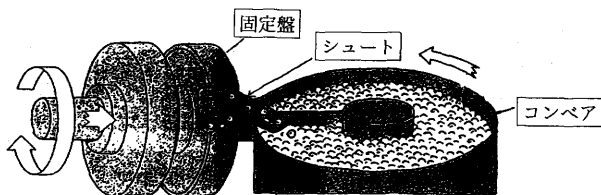


図 4

## 6 外観検査

自動外観選別機で鋼球全体の傷をチェック

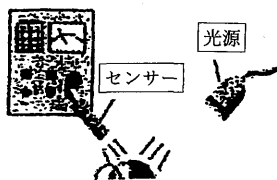


図 6

## 5 洗浄

鋼球表面のヨゴレを超音波で洗浄

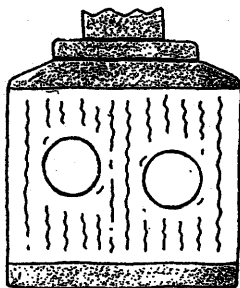


図 5

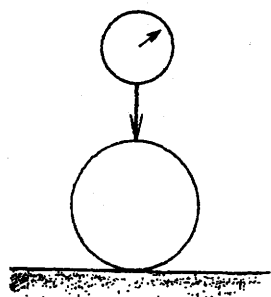
次に図 5 の洗浄機を用い、洗浄液に超音波をあて、鋼球表面の微細なヨゴレを洗浄します。

最後に図 6 に示される自動外観選別機で鋼球全般を検査し、表面に有害なキズのある鋼球はすべて除去します。この原理は鋼球に光線を当て、反射光をセンサーでキャッチし、その違いによる判別です。約三十年前までは女子作業員の肉眼に頼って検査していましたが、最近はすべて自動化されています。

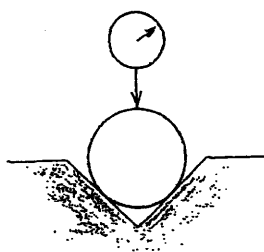
以上のような工程を経て定められた包装箱に包装されて出荷される、それが最もティピカルな製造工程ですが、特殊な品質を要求される場合には、更に工程が加えられることがあります。

### 二 鋼球に要求される品質特性

#### 二・一 直径不同、真球度



直径不同の測定法



真球度の測定法

図 7

直径不同、真球度とは個々の鋼球の直径の最大値と最小値の差のことです。

測定方法は図 7 のように、直径不同は二点測定で、真球度は V ブロック法による三点測定で行われます。どちらも標準球との指針の振れの差で決められますが、全数測定は物理的に不可能ですので、抜き取りでおこないます。

どの程度の精度のものが製作されているかと申しますと、例えば直径が一〇mm の鋼球で真球度が  $0.002\mu\text{m}$  ( $\mu\text{m}$  は千分の一mm) という超高精度鋼球の製作が可能です。もっと分かりやすくするために地球に例えまると、地球は長径は六三七八km、短径は六三四七km、その差は三一kmで、これが地球の真球度です。真球度が  $0.002\mu\text{m}$  の球を地球に拡大すると一二・七m となります。三二km と一二・七m の差となって、鋼球がいかに精度が高いものかお分かりいただけただけだと思います。

## 二・二 ロットの直径の相互差

鋼球の直径によって加工単位が変わりますが、

一〇mmの鋼球では二〇〇kgの単位で加工されます。この加工単位をロットと言います。そのロットの中の最大鋼球の平均径と最小鋼球の平均径の差をロットの直径の相互差と言います。測定方法は直径不同と同じ方法で行われます。全数測定は不可能ですので抜き取りで行われます。測定値は直径不同の値とほぼ同じ程度の精度が得られます。

## 二・三 表面粗さ

鋼球は鏡面に仕上がっているように見えますが、厳密に観察すると、表面には凹凸が存在しています。表面粗さ測定器「タリサーフ」を用いて二〇万倍に拡大して測定すると、表面粗さが $0.001\mu\text{m}$ 精度まで加工できます。これを地球の大きさにまで拡大すると、表面の凹凸は六四cmとなり、山も谷もないフラットな大平原になります。

## 二・四 ウェビネス

ウェビネスとは鋼球の仕上げ面のうねりを「ウェビネス」と言っております。これは図8に示したように色々な山数成分が重なって構成されているものです。このウェビネスはボール・ウェビネス・メーターを使用して測定します。ウェビネス・メーターはボールを一定の回転数で回転させ、先端に直径 $0.7\text{mm}$ のルビー球を持つ速度型のセンサーでボール表面のうねりを測定します。その出力をアンプで増幅し、ボールの一円周当たりの凹凸の山数で分類して、その山数をいくつかのバンド（帯域）に区切ってそのバンドごとの山



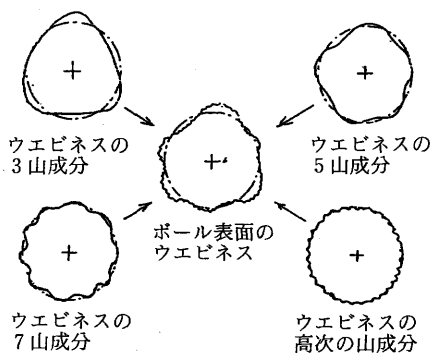


図8 ボール表面のウエビネス

の高さの平均として評価するものです。このウエビネスはコンピュータのHDDのスピンドル様用軸受やVTRのヘッドのように小型化、軽量化、又回転数は通常数千回転ですが、一万回転と高速化されるに伴って高精度の鋼球に要求される品質特性です。自動車等に使用されているものではありません。このような高精度鋼球は日本の最も得意とするところで独占しています。

## 二・五 疲労寿命

鋼球に荷重をかけ、繰返し応力を加え続けると表面が剝離する現象が生じ、使用することができなくなります。この剝離を生ずる迄の時間を疲労寿命と言います。従って玉軸受けを機械に組み込まれてから一定時間以上破損しないことが要求されます。日本産のベアリングは精度的には遜色がないのですが、寿命時間がスウェーデンのSKF社に比較して1/2、1/3と劣っております。色々調査した結果、使用材料に大きな要因があることが判明しました。

そして材料に含まれている不純物、即ち酸化珪素等の非金属介在物が寿命低下の原因であることをつきとめました。そこで材料供給者である鉄鋼メーカーと協力し、酸素の成分を減少する脱ガス製鋼法を開発、実用化してこの問題をクリアしました。現在では日本産の品質は世界で一番優れたものになっています。また、寿命の長さには炭化物等の均一な組成が要求されますので、焼き入れ、焼き戻しなどの熱処理の適正化が必要になります。

## 二・六 硬さ

一定時間以上の使用を保持するためには、素材のままでは不十分なので、硬くするため八〇〇度C〜八五〇度Cの温度で、水中或いは油中で焼き入れを行い、そのままでは脆いので、一〇〇度C〜一五〇度Cで焼き戻しを行って靱性を持たせます。直径3mm以下の小さな鋼球はビッカース硬さ試験機で測定し、それ以上の直径の鋼球はロックウェル硬さ試験器で測定します。鋼球の硬さはロックウェル値に換算すると六〇〜七〇です。測定は抜取検査で行います。

## 二・七 圧碎値

鋼球の使用時には大きな加重がかかりますので、それに耐えるだけの強度が要求されます。その強度試験の値が圧碎値です。測定方法は二球を重ねて加重をかけ、どちらか球が割れた時の値で表します。最近では品質が非常に安定しているため、JIS（日本工業規

格)でも規格外となり、参考値となっています。

以上、鋼球の品質に要求される主な特性についてお話しましたが、ユーザーの要求によつては、これ以外の特性を要求される場合もあります。極めてシンプルな形状の鋼球にこれだけの品質特性が要求されるということをご理解頂きたいと思います。

### 三 鋼球の寸法、等級

鋼球の寸法の種類を表1に示します。最小は〇・三mm、最大は四・五吋(吋は二五・四mm)、全体で百二十四種に及びます。〇・三mmのような小さなもの、四・五吋のような大きなものも、その製造方法、寸法測定方法等は原理的に全く同じであります。ユーザーの要求により、これ以外の寸法も製作します。寸法は小数表記のもの単位はmm、分数表記のものは吋です。最初はすべて吋表記でしたが、最近ではmm表記が増加しました。でも生産数量はまだ吋表記のものが多数を占めています。

また等級につきましては「直径不動」、「真球度」、「表面粗さ」、「ロットの直径の相互差」等によつてG三、G二、〇の一〇等級に分類されることとなります。先程、寸法の種類は〇・三mmから四・五吋まで百二十四種と申しましたが、厳密には更に細分化され種類は増

加します。表2の右端にゲージという項目があり、例えば一〇mmの鋼球ではマイナス一〇μmからプラス一〇μmまで一μmとびに一九種類の鋼球が存在することになります。

#### 四 鋼球の材料

鋼球の材料は①高炭素クロム軸受鋼②ステンレス鋼③耐熱鋼④炭素鋼⑤セラミックス等があります。この中から代表的な①、②の化学成分を表3に示します。しかし、現在使われている材料の中で九〇%以上は高炭素クロム軸受鋼です。この材料は最初軸受に使用されて以後数十年間に亘って化学成分は変わっていないので、成分的には材料の進歩は全くなかったと言えます。しかし、この材料が最初から変えようがない程、品質的に優れコスト的に安価で安定的に供給できる優秀なものであったということでありましょう。また、製鋼方法には大きな改善がなされ、それが脱ガス製鋼法であります。鋼中に含まれるごく微量の酸素や窒素（特に酸素）が化合物を作って品質に悪影響を及ぼすことは判明していましたので、酸素、窒素を減少させることが課題でした。これを解決したのが真空装置を適用した脱ガス製鋼方法です。現在では全面的に採用され、品質は飛躍的に向上しました。この外ステンレス鋼を耐水・耐熱の時に使用します。

付表1 呼び及び呼び径

呼び		呼び径 Dw (mm)	呼び		呼び径 Dw (mm)	呼び		呼び径 Dw (mm)	呼び		呼び径 Dw (mm)
1号	2号		1号	2号		1号	2号		1号	2号	
0.3		0.30000		17/64	6.74688		25/32	19.84375		1 11/16	42.86250
0.4		0.40000	7/16		7.00000		20/16	20.00000		1 3/4	44.45000
0.5		0.50000		9/32	7.14375		13/16	20.63750	45.0		45.00000
0.6		0.60000	7/8		7.50000	21.0		21.00000		1 13/16	46.03750
	0.025	0.63500		5/16	7.93750		27/32	21.43125		1 7/8	47.62500
0.7		0.70000	8/16		8.00000	22.0		22.00000		1 15/16	49.21250
	1/32	0.79375	8.5		8.50000		7/8	22.22500	50.0		50.00000
0.8		0.80000		11/32	8.73125	23.0		23.00000		2	50.80000
1.0		1.00000	9/16		9.00000		29/32	23.01875		2 1/8	53.97500
	3/64	1.19062		3/8	9.52500		15/16	23.81250	55.0		55.00000
1.2		1.20000	10.0		10.00000	24.0		24.00000		2 1/4	57.15000
1.5		1.50000		13/32	10.31875		31/32	24.60625	60.0		60.00000
	1/16	1.58750	11.0		11.00000	25.0		25.00000		2 3/8	60.32500
	5/64	1.98438		7/16	11.11250		1	25.40000		2 1/2	63.50000
2.0		2.00000	11.5		11.50000	26.0		26.00000	65.0		65.00000
	3/32	2.38125		15/32	11.90625		1 1/16	26.98750		2 5/8	66.67500
2.5		2.50000	12.0		12.00000	28.0		28.00000		2 3/4	69.85000
	7/64	2.77812		1/2	12.70000		1 1/8	28.57500		2 7/8	73.02500
3.0		3.00000	13.0		13.00000	30.0		30.00000		3	76.20000
	1/8	3.17500		17/32	13.49375		1 3/16	30.16250		3 1/4	82.55000
3.5		3.50000	14.0		14.00000		1 1/4	31.75000		3 1/2	88.90000
	9/64	3.57188		9/16	14.28750	32.0		32.00000		3 3/4	95.25000
	5/32	3.96875	15.0		15.00000		1 5/16	33.33750		4	101.60000
4.0		4.00000		19/32	15.08125	34.0		34.00000		4 1/4	107.95000
4.5		4.50000		5/8	15.87500		1 3/8	34.92500		4 1/2	114.30000
	3/16	4.76250	16.0		16.00000	36.0		36.00000			
5.0		5.00000		21/32	16.66875	38.0		38.00000			
5.5		5.50000	17.0		17.00000		1 7/16	36.51250			
	7/32	5.55625		11/16	17.46250	38.0		38.00000			
	15/64	5.95312	18.0		18.00000		1 1/2	38.10000			
6.0		6.00000		23/32	18.25625		1 9/16	39.68750			
	1/4	6.35000	19.0		19.00000	40.0		40.00000			
6.5		6.50000		3/4	19.05000		1 5/8	41.27500			

備考 1/16以上の呼びは2欄を優先的に使用する。

表 1

付表2

## 等級の適用範囲,形状及び表面粗さ並びに区分けの精度及びゲージ

単位: /mm

等級	呼びの適用範囲		形状及び表面粗さ			区分けの精度及びゲージ		
	1種	2種	円筒不動 V <sub>max</sub> (最大)	球状度 (最大)	表面粗さRa (最大)	ロットの精度 の相互差 V <sub>max</sub> (最大)	ゲージ間隔	ゲージ S
12	0.3~12	0.025~1/2	0.08	0.08	0.012	0.13	0.5	-5, ..., 0.5, 0, +0.5, ..., +5
6	0.3~12	0.025~1/2	0.13	0.13	0.02	0.25	1	-5, ..., 1, 0, +1, ..., +5
10	0.3~5	0.025~1	0.25	0.25	0.025	0.5	1	-9, ..., 1, 0, +1, ..., +9
16	0.3~5	0.025~1	0.4	0.4	0.032	0.8	2	-10, ..., 2, 0, +2, ..., +10
20	0.3~8	0.025~1/2	0.5	0.5	0.04	1	2	-10, ..., 2, 0, +2, ..., +10
25	0.3~8	0.025~1/2	0.7	0.7	0.05	1.4	2	-12, ..., 2, 0, +2, ..., +12
30	0.3~50	0.025~2	1	1	0.08	2	4	-16, ..., 4, 0, +4, ..., +16
60	0.3~5	0.025~3	1.5	1.5	0.095	3	5	-25, ..., 5, 0, +5, ..., +25
100	0.3~5	0.025~4/2	2.5	2.5	0.125	5	10	-40, ..., 10, 0, +10, ..., +40
200	0.3~5	0.025~4/2	5	5	0.2	10	15	-60, ..., 15, 0, +15, ..., +60

備考 ゲージ間隔の値は,受渡し当事者間の協議によって小さくしてもよい。

表 2

## JIS G 4805 高炭素クロム軸受鋼材

種類 の記号	化学成分%					
	C	Si	Mn	P	S	Cr
SUJ 1	0.95~1.10	0.15~0.35	0.50 以下	0.025 以下	0.025 以下	0.90~1.20
SUJ 2	0.95~1.04	0.15~0.35	0.50 以下	0.025 以下	0.025 以下	1.90~1.99

## ■ JIS G 4303 ステンレス鋼棒・JIS G 4309 ステンレス鋼線

種類の記号	化学成分%						
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
SUS 440 G	0.95~1.20	1.00 以下	1.00 以下	0.040 以下	0.030 以下	—	16.00~18.00
SUS 304	0.08 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	8.00~10.50	18.00~20.00

表 3

## 五 鋼球の使用例

鋼球は機械の回転部分に使用されていますが、自動車、電車、バイク等の乗り物、汎用モーター、クーラー、ビデオ、パソコン等の電気製品、工作機械、産業機械等で全体の九〇%を占め、その他は鋼球単体で使用されるものを含めて約一〇%となっています。自動

車では車輪、エンジン、ステアリング（操舵）、冷却ポンプ、自動化された窓硝子の上下操作等々非常に多く使用されています。ステアリングには多数の鋼球が使用されていますが、かつて鋼球が割れるというトラブルが発生しました。鋼球を調査しても異状はありません。いろいろ調査した結果、ハンドルを大きく切った後、復元する時に非常に大きな力が加わり、割れが発生することが分かりました。そこで鋼球の靱性を増す熱処理を施すことにより解決しました。

電気製品の中でパソコン、ビデオに使用されているのは1mm前後の極小ボールで、品質的には最高の等級のものが使用されています。この品質特性としてウェビネス値が優れていることが必要です。この値が悪いとパソコンは処理速度が遅くなりますし、ビデオでは画面がびびって不鮮明になります。この最高等級の鋼球は日本の独壇場で他国の追隨を許しません。また、クーラーのモーターに使用される鋼球もウェビネス値の優れたものが必要で、悪いと騒音が大きくなります。

次に工作機械、産業機械等の中で、自動化されたNC旋盤（数値制御旋盤）では振動の少ないことが要求され鋼球の変わりに窒化珪素を材料にしたセラミック球が使用されています。航空機のジェット・エンジン用のベアリング鋼球は耐熱鋼M50（クロム・モリブデン・バナジウム合金）が使用されています。飛行中に異常が発生し墜落した時は大惨事に



なりますので、鋼球の検査は嚴重を極めます。

表面のキズは勿論のこと、目に見えない内部欠陥の検知テストも行われます。材料は不純物の少ない真空溶解材の使用が義務付けられています。また同一ロットで製造された製品一〇個のうち九個の回転試験を行い、九個すべてが定められた時間以上の寿命がある場合に限り、残り一個を採用するという厳しさです。ジェットエンジンのメーカーはプラット・アンド・ホイットニー、GE（何れも米国）、ロールスロイス（英国）、スネクマ（仏国）等が有名ですが、国産では石川島播磨重工が小型機のエンジンを製作しております。飛行機の墜落事故はよく報道されていますが、ベアリングによる事故は今まで聞いたことがありません。また新幹線にも使用されています。軸受鋼が使用されており、航空機程ではありませんが嚴重な検査が行われています。新幹線のベアリングによる事故も発生しておりません。

ボールペンの先端に鋼球が使用されています。これに使用されている材料は超合金でタングステンと炭素の粉末を高温度で焼結した非常に硬い（ダイアモンドに匹敵する）合金です。材料メーカーは住友電工、東芝タンガロイ等で球形に焼結された素材を丹念に磨かれたもので、製品はベアリング鋼球と同じ精度のもので、ボールペンはボールとホルダー（チップという）のかみ合わせが大切で、これが良くないとインクが多量ににじみ出た

り、或いは出なくなったりします。最近は改良されてこのようなトラブルは少なくなりました。使用ボールの寸法は日本では大部分○・五mmのものが使用されておりますが、外国では○・七mmのものが多く使われているようです。高級のボールペンでは人造ルビー等が使われることがあります。その外造船業界の進水式の時に、ドックに鋼球を並べて、その上を滑らす方式も採用されています。

また、飛行機の中で荷物を運搬する装置にも使用されています。この場合航空機は軽さが要求されますので、中空球が使用されます。中空球の製造は鋼板を加工してお椀状のものを作り、二つのお椀を溶接して球状にします。自転車のハブ、ペダルその他の部品にも小寸の鋼球が使用されています。

最後に非常に珍しい現象をお話ししたいと思います。火力発電の場合、石炭を粉碎微粉にして使用しますが、粉碎用に大きな鋼球（直径約三〇cm）を使用します。電力会社に納入したところ真二つに割れたというクレームがありました。現場に行きますと、使用前、格納中の倉庫内で真二つに割れ、割れた半球が約一・五mの高さの棚の上に割れた反動で飛び上がっております。爆弾ボールとして恐れられ近付くのを禁止されましたが、その残りのボールには全く異常はありませんでした。原因については水素脆性とか言われておりますが、割れの原因については結局はつきりしたことは分かりませんでした。不思議

なことが起こるものです。

以上主な使用例について話しましたが、ベアリングは機械の回転部分に使用されていますが、機械の中に組み込まれており、姿は見えませんが、極めて地味な存在ですが、その良否は機械の運転に大きな影響を及ぼすものであります。

## 六 今後の展望

パソコンのハードディスク駆動装置(HDD)、VTRに使用する鋼球は軽薄短小、高速度化に伴って超高精度鋼球(○・○一 $\mu$ m $\sim$ ○・一 $\mu$ m  $\mu$ m $\parallel$ 千分の一mm)が要求されます。このような鋼球を製造する技術は日本が優れていて、外国の追随を許さないものがあります。競争力が抜群ですのでいくらか高くても売れますので利益率は高くなります。しかし、一方自動車、一般機械に使用される鋼球は上記のような高精度のものには必要がなく低価格のものが要求されます。低価格のためには、低賃金でコストを下げるのが最も効果的であり、中国、タイ、インドネシア、ブラジル、ポーランド等の低賃金国で生産することが有効で、海外生産は加速されています。つまり、ベアリング鋼球は高精度化と低価格化といういわば二極化現象を呈しています。この傾向は当分続くだろうと思います。

私はポーランドへプラント輸出をした経験がありますので、本筋からそれますが、ポー

ランドの体験をお話ししたいと思います。ポーランドは現在は自由化され資本主義国の一員に入っておりますが、当時はソ連勢力下の共産主義国家でした。三高出身者で海外体験者は無数に存在すると思いますが、共産国家の経験者は案外少ないのではないかと思ひますので、何らかの参考になればと思ひます。

ポーランドは面積約三〇万km<sup>2</sup>人口三千万、西スラブ族で言語はポーランド語です。宗教は九〇%がカソリックです。ポーランドはポーランド語で *Polska* と言ひ、これは平原を意味しますが、南部の一部を除いて見渡す限りの平原が広がっています。歴史的にはロシア、プロシヤ、オーストリアの三大強国に第一次分割、第二次分割され、第一次大戦後独立国になったのも東の間、ドイツ、ソ連の侵略を受け、第二次世界大戦後はソ連の勢力下に呻吟する虐げられた民族であります。しかし、コペルニクス、キュリー夫人、シヨパン、シエンキエビッチ（クオ・バデイスの著者）等を輩出した優れた頭脳を持っています。私に関係したのは一九七五〜一九八二年、最初は技術打ち合わせのための往復で、実際に滞在したのは一九八一〜一九八二年です。ポールプラント建設地はワルシャワ東南三〇〇kmのクラスニックという美しい田園に囲まれた人口数万の小都市です。一軒だけある小さなホテルが宿舎です。当時、現地は物資が極端に不足しておりました。日用品、食料品は店にはほとんど売っておりません。従つてこれらの品物は前もつて日本から送つてありまし

た。ラーメン、缶詰等です。ただドルシヨップと言うのがあり、ここではドルだけでスコッチウイスキー、外国たばこが免税で購入できました。ドルの威力は絶大です。ドルとズルチー（ポーランド通貨）のレートは闇値が横行していました。タクシーはドルを出す去何処へでも連れて行ってくれました。

当時はワレサが連帯を組織し、政府に反抗しておりましたが、一九八一年一月二三日ワレサは逮捕され、戒厳令が発令されました。戒厳令下では通信・電話が全く通じないのです。日本での情報過剰の社会に慣れていると、外部と連絡が全く途絶えますと精神的に異常を感じるようになります。今となっては非常に貴重な経験だったように思います。

共産主義国の本音の部分に接することができました。共産主義は唯物弁証法を基本理念とする理想国家を目指したのですが、実情は月とスッポンの大きな乖離を垣間見ることができました。その中で最も顕著なのは共産主義のセクシヨナリズムです。ティピカルな事例を示しましょう。ポール・プラントの建屋建設と機械の運搬はポーランド側が担当しましたが、建設担当者で運搬担当者がお互いに連絡せずに単独で行うものですから、建屋が先に建設され、機械を搬入しようとする入り口が小さくて入らず、結局壊して搬入しました。また工場には配管や配線をしなければなりません、いざやろうとするとコンクリートの壁に穴が開いておらず、コンクリートを壊して穴を開けるといった始末でした。

日本では考えられないことです。日本の官僚もセクシヨナリズムを非難されておりますが、それに輪をかけたひどいものです。

仕事に対する熱意のなさ、サービスの悪さも目に付きます。共産社会では共産党の息の掛かった者は出世できますが、一般人は下積みです。下積みの者は真面目に仕事をしようが、さぼろうが給料は変わりません。サービス精神は全くゼロで、役所の窓口で手続きを依頼しても知らん顔をしてなかなかやってくれません。いらいらした経験があります。

物資不足については先に申しましたが、店頭に品物がなくても闇物資は流通しております。厳冬の時、日本から持参したコートでは寒さに耐えられず、裏に羊毛のついたコートが必要になった時、闇流通品で入手することもできました。どこの社会でも本音と建て前があります。共産国家の非効率、非合理性は著しいものがあります。共産国家が予想外に早く崩壊しましたが、こんなところに要因が内包していたものと思えます。

しかし、唯物弁証法に欠陥が内包していたのか、或いは理論的には正しく、運用方法に適正を欠いたものがあり、将来復活する可能性があるのか、それについては今後の歴史の進展を見守る必要があると考えます。

ポーランド人は酒好きです。ウオッカを飲みます。何かあるとウオッカを飲みます。非常に強い酒で私も嫌いな方ではなかったので調子に乗りすぎ、泥酔して人事不省にな

ったこともありました。空腹時にウオッカは禁物です。油っこいものを食って、胃に膜をつくっておくことが肝要です。しかし、反面コミュニケーションは良好になり、仕事が順調に進んだという思い出が残っております。閑話休題 話を本筋に戻しましょう。ベアリング業界は高精度化と低価格化が進んでいると申しましたが、高精度ベアリングは最近新しい動きが出ております。それは高精度ベアリングの中には転動体（鋼球）の代わりに流体（油）を利用する流体動圧軸受け（FDB）の実用化であります。固体同士より固体と液体の接触の方が摩擦、振動が優れているのは明らかです。コストの点で問題は残っておりますが近い将来実現される可能性は十分あると思います。この外空気圧を利用する空気軸受けの試作もあり、またNASA等では無重力の中で溶解した溶鉄をノズルから放射して表面張力の力によって球形に成型する方法等も将来の夢として考えられております。

## 七 まつめ

今まで鋼球について話して来ましたが、鋼球で目に付くものはパチンコ球とします。しかしベアリング鋼球は機械に組み込まれていて見ることができませんが、パチンコ球とは比較することができないいろいろな優れた特性を持っています。

その精度は〇・一 $\mu$ mで評価される極めて高いものであり、地球上人工的に製造される物品の中で最も精度の高いものであります。また粗さ、ウエビネス、硬さ等々の多種多様な品質特性を内蔵しておりますし、寸法は〇・三mmから四・五吋（一一四・三mm）まで種類は多数にのびります。また機械の回転部分には必要で極めて多方面に使用されています。極めてシンプルな鋼球ですが、このような多様性を理解して頂ければと考えております。こんな単純なものに四十数年間よく付き合ってきたと言われます。そう言われれば我ながらよく辛抱したものだと思えます。よく考えればボールのように私が単純で外に能が無かったのだらうと思えます。この四十数年間で得られた人生のモットーは「Simple is best」であり、これを今も人生の指針として生き続けております。

（元天辻鋼球製作所常務取締役）