

鉄系部品の複合表面熱処理

ナイトロテック法について

目次

1. 表面熱処理法とナイトロテック法	1
2. ガス軟窒化法とナイトロテックの歴史	2
3. ナイトロテックとは。ナイトロテック処理方法	3
4. ナイトロテック処理による特性	
4. 1 金属組織	4
4. 2 表面硬さ	6
4. 3 断面硬さ推移曲線	8
4. 4 耐摩耗性	9
4. 5 引張り強さ 伸び	14
4. 6 耐疲労性	17
4. 7 耐(腐)食性	20
4. 8 面粗度	21
4. 9 寸法変化	23
5. 応用例	25

表面処理法と効果

分類	表面処理法	効果				
		装飾	耐食	耐摩耗	耐疲労	
化学的方法	浸炭焼入、浸炭窒化焼入			○	○	
	軟窒化			○	○	
	窒化			○	○	
	浸硼(ボロナイジング)		△	○		
	浸硫			△		
	金属浸透(CVDなど)			○		
	ナイトロテック	△	○	○	○	
物理的方法	高周波・火炎焼入			○	○	
	加工硬化 (ショットピーニング)			○	○	
	被覆法	熔融めっき	△	○		
		溶射	△	○		
		真空蒸着	○	○	○	
反応性気相メッキ (PVD、プラズマCVD)		△	○	○		

ガス軟窒化とナイトロテックの歴史

昭和31年から35年頃、オールケイス炉によるガス浸炭や無酸化焼入が普及しRXガスが使われ、これがガス軟窒化の技術へと発展した。昭和35年、英国のルーカス社からRX+NH₃ガスによるガス軟窒化の特許出願がされたが、時期尚早で世間に認められなかった。

その10年後の昭和45年頃から、ナイトンパー（イブセン社）、トライナイジング、タフナイト等の商標名でガス軟窒化が知られるようになった。

英国ルーカス社は昭和35年から続けてきたガス軟窒化の実績を更に発展させ、昭和54年にガス軟窒化法による表皮部に、空気酸化による四三酸化鉄被膜（Fe₃O₄）生成と、表層の多孔性外層部にワックス含浸を施すことで、ガス軟窒化による効果に加えて、耐食性、耐摩耗性、装飾性を加えたナイトロテックとして発表した。

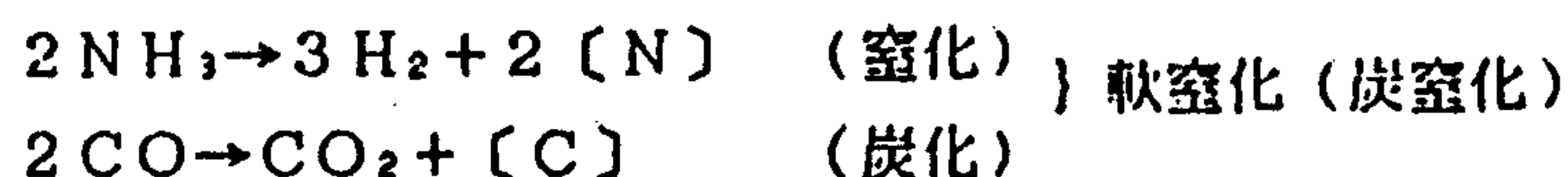
ナイトロテック・ガス軟窒化・塩浴軟窒化・の相対的な技術解説

大項目	熱処理 中項目	ナイトロテック 記号 (N T N)	ガス軟窒化 記号 (N T S)	塩浴軟窒化 商標 (タフトライド)
処理法	1 雰囲気	ガス RX+NH ₃	ガス RX+NH ₃	塩浴 KCN+KCNO
	2 温度	530~720℃	580℃	580℃
	3 酸化工程	四三酸化鉄	なし	なし
	4 冷却	水・油のイミジョン液	油	水
	5 ワックス含浸	有機シーラントを含浸する	なし	なし
	6 外観仕上がり	黒色又は灰色	白色	灰白色
解説	1	NTNとNTSはクリーンなガスを用いるので、シアン公害（環境・後処理）対策はいらない。		
	2	NTSとタフトライドは共析温度（590℃CA1N）以下で処理をする。		
	3	NTNは530~720℃と要求品質に応じた温度設定で短時間に窒素を拡散促進させる。		
	4	窒化ガス雰囲気中でα鉄窒化層を作り、最表面にFe ₃ O ₄ 酸化膜を形成した後に550℃以上の温度から冷却する事により、窒素拡散層の強化と酸化物富化表面層の相乗的な耐食性向上効果を示す事が、NTSやタフトライドでは求められない特長である。		
	5	NTNがイミジョン液中で焼入されるのは降伏強度に加えて、蒸気膜段階における部品に与える冷却速度が変寸や変形量の管理を容易にして、油冷や水冷より歪量を少なくしている。		
	6	酸化膜層と表面多孔質層に、有機シーラントを含浸させることにより、耐食性を大幅に改善してその状態が、含油潤滑性を保ち摺動性を良くする。		
	7	瞬間酸化工程で得られた酸化物層に、ワックス含浸をする事により黒色仕上げとなり、美観と防眩性が付加される。		
特性	1 耐食性(sst)	JISZ2371(240H)標準処理	20H (ワックス含浸40H)	
	2 引張強度	94 kg/cm ² (0.5mm)		
	3 化合物層	20~40 μm	10~20 μm	10~20 μm
	4 硬度(SPC材)	HV650~800	HV500~700	HV500~700
	5 面粗度	粗れない	粗れない	粗れる
	6 変形	少ない	少ない	大きい
	7 価格	タフトライドと同額程度	浸炭浸窒と同額程度	
<p>【ナイトロテック法について】</p> <p>新時代のニーズに応える、鉄系の複合表面熱処理“ナイトロテック”は、英国のルーカス社が独自に開発したガス軟窒化に、潤滑剤油脂含浸を組み合わせたプロセスである。</p> <p><u>NITRIDING</u>窒化<u>Oxidising</u>酸化<u>proTECTION</u>防食からなる<u>NITROTEC</u>の特長は1工程で耐摩耗・摺動性・耐食性・疲労強度・の向上を計り、更に表面に含浸する特殊なワックスが潤滑、防食、に加えて黒染効果となり、ブラックフィニッシュの装飾性と耐食性が得られる。</p> <p>適用部品と使用目的により、高級鋼材を低品位部材への転換や、薄板部品に対してはSPC材を用いて軟質時に成形がしやすく金型寿命の延長を計り、仕上がり時にはほとんど変形なく強化する、小型軽量化が可能となり、めっきや塗装の省略によるコストダウンを達成させる等、画期的な表面硬化法である。</p> <p>尚その作業環境は、クリーンなガス雰囲気を使用する事により、塩浴処理等のような排水の後処理が不要で、製品にはソルト等の付着のない無公害の熱処理である。 KK東洋金属熱練工業所 技術企画部</p>				

ナイトロテックの金属組織

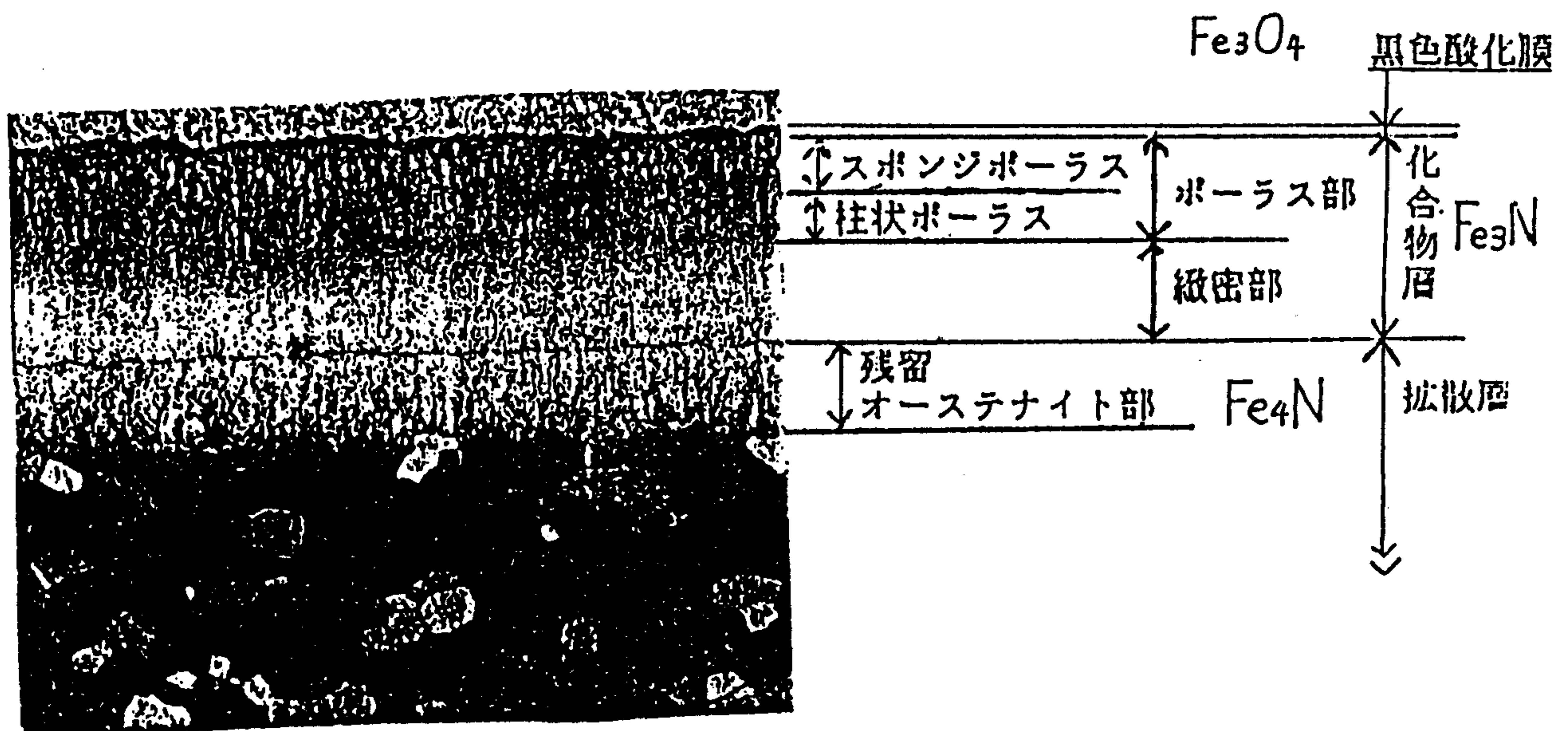
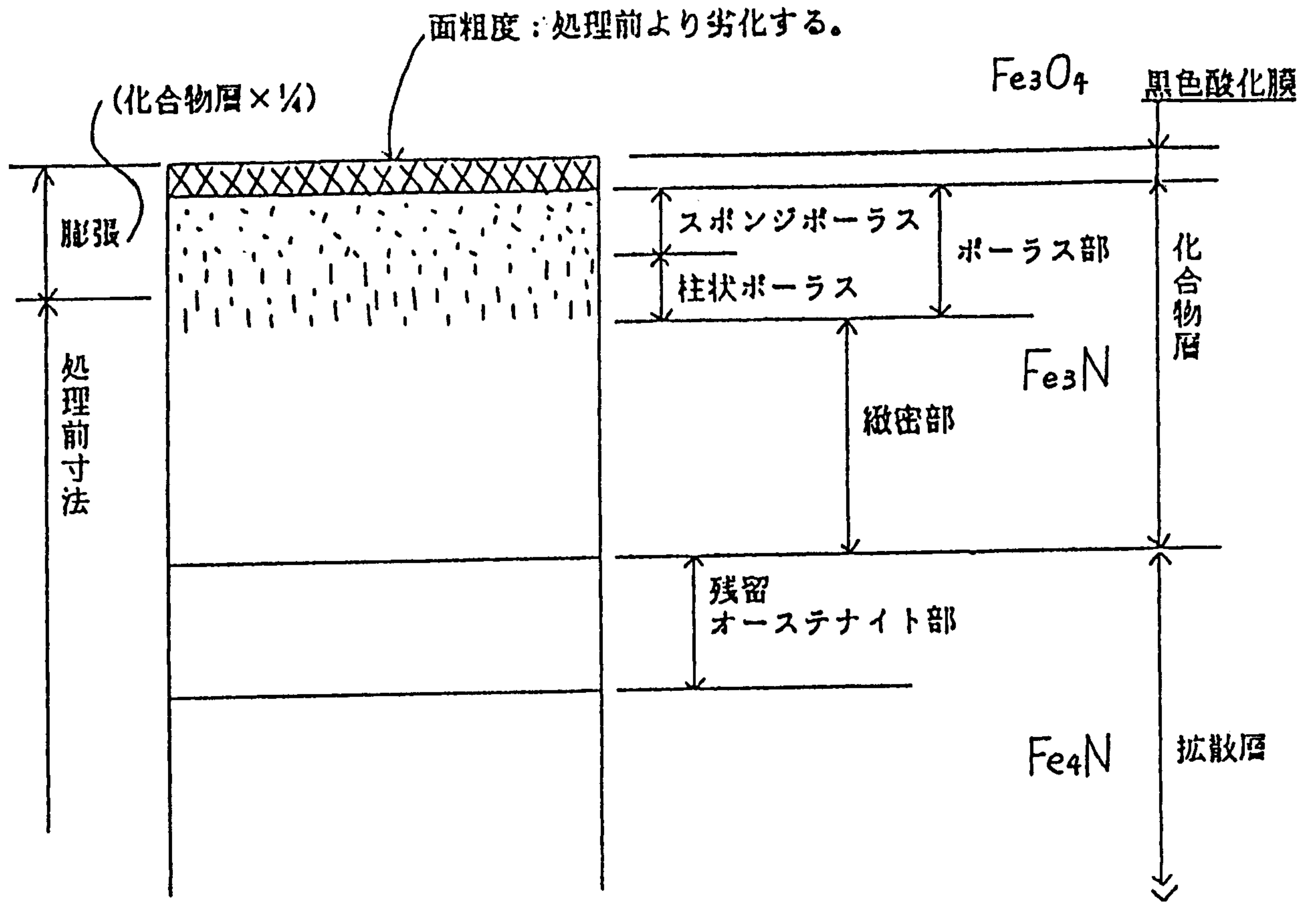
ナイトロテック（軟窒化）の反応

セラミックス製のナイトロテック炉内でガス雰囲気中のアンモニアと一酸化炭素は鋼部品と次の反応を起こします。



ナイトロテックのミクロ組織

名 称	主な組織	結晶構造	備 考
四三酸化鉄（黒色酸化膜） マグネタイト	Fe_3O_4		最表面に0.5～1 μm 生成し、初期なじみ性、耐食性、黒染効果が期待できます。
ϵ [イプシロン] （化合物層）	Fe_3N （Cを最大 3.5%固溶）	稠密六方晶	表面に20～40 μm 生成します。ポーラス部と緻密部があり耐摩耗性、初期なじみ性、耐食性を向上させます。
γ_{R} [リテンドガンマー] 残留オーステナイト （拡散層）	$\gamma\text{-Fe}$	面心立方晶	通常590°Cの三元共晶点以上で γ の状態が存在し、急冷によりマルテンサイトにならずに残留したオーステナイトです。
γ' [ガンマーダッシュ] （拡散層）	Fe_4N （Cはほとん ど固溶しない 最大0.2%）	面心立方晶	約5.2～6.1%Nで固溶しています。耐疲労性を有し300°Cの温度で針状に析出し拡散層の深さがわかります。
α [アルファ] （素地）	$\alpha\text{-Fe}$	体心正方晶	材料の素地組織です。

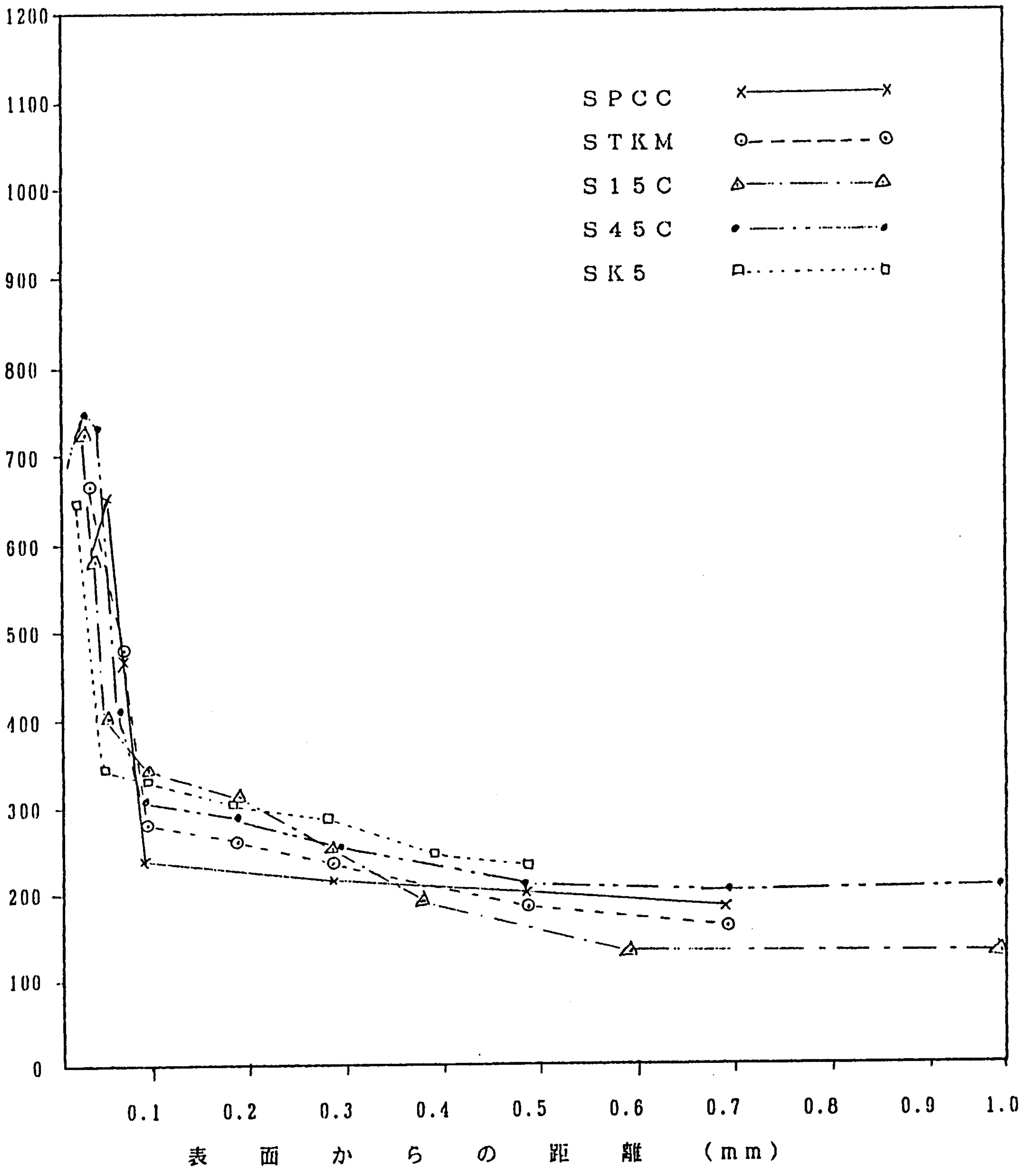


表面硬さ

鋼種	Hv(0.1)						
	500	600	700	800	900	1000	1100
SPCC							
STKM							
S15C							
S45C							
SK5							
SCM415							
SCM435							
SACM645							
FC25							
FCD50							

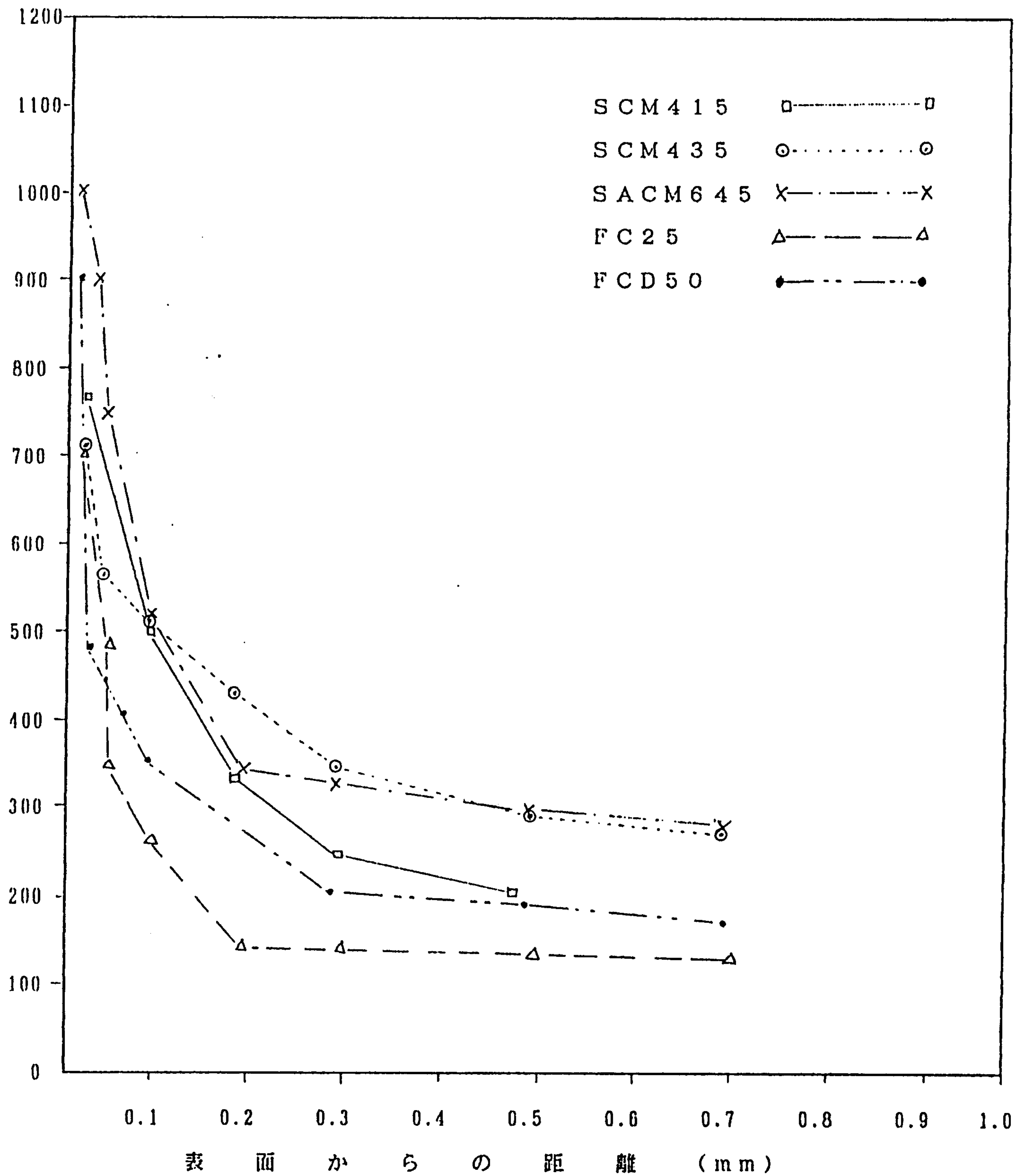
断面硬さ推移曲線 1

Hv(0.1)

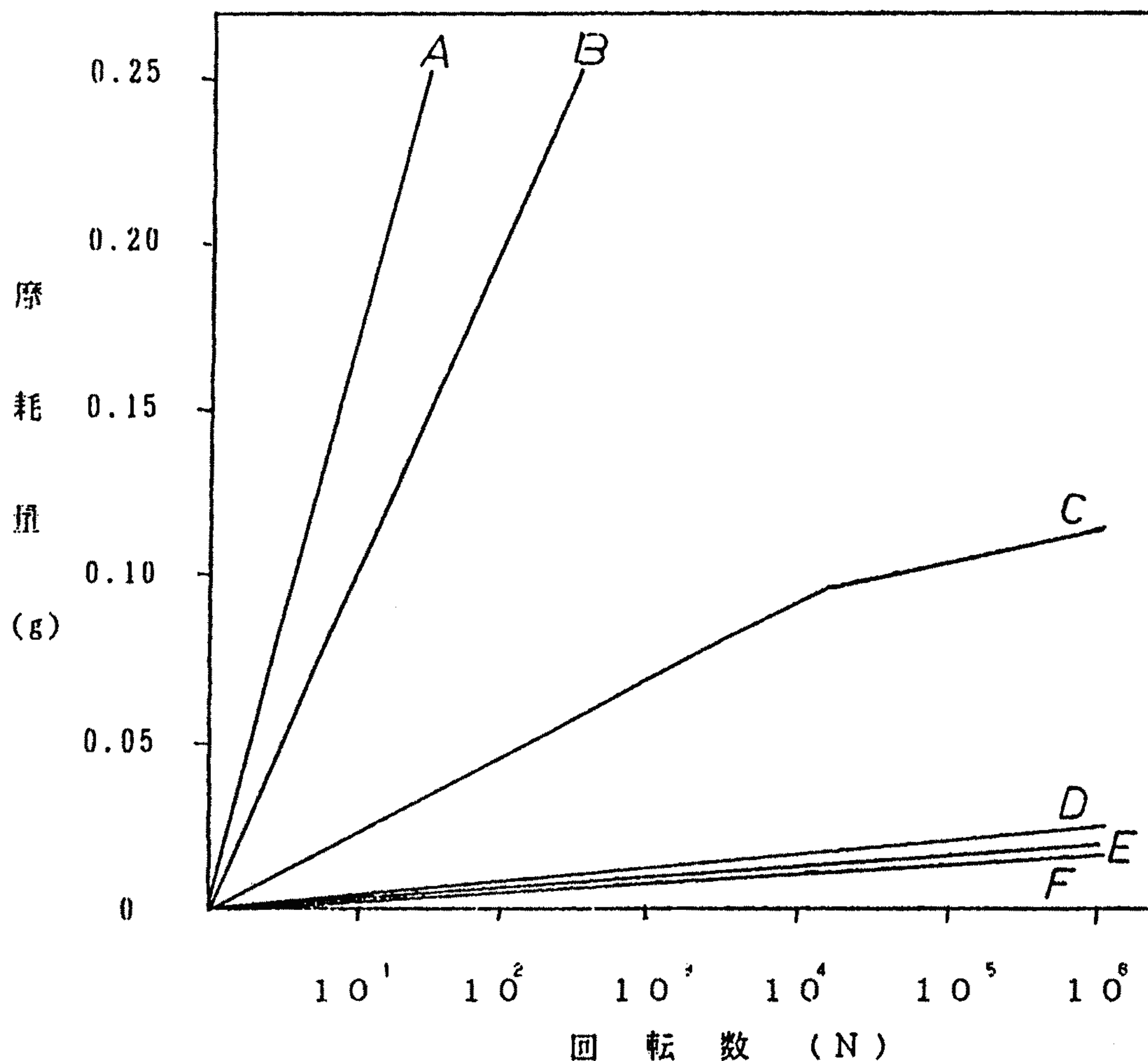


断面硬さ推移曲線 2

Hv(0.1)



各種窒化処理の耐摩耗性



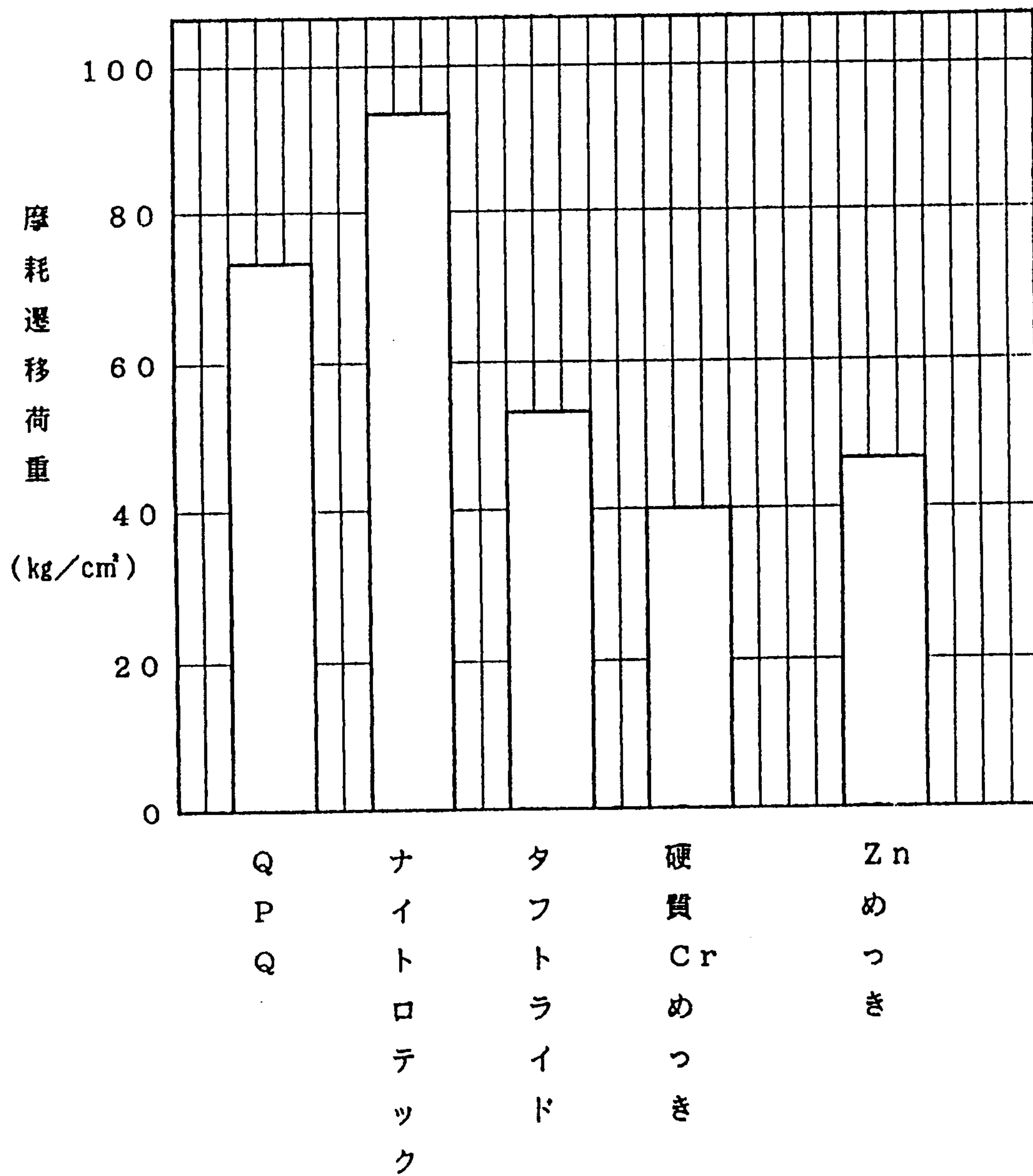
【試験条件】 φ38.1×9.52' の試験片 2 個に 20 Kg の荷重をかけ 10% のすべりを付け回転させた。SAE 30 油使用。

試験片 S 1 5 C

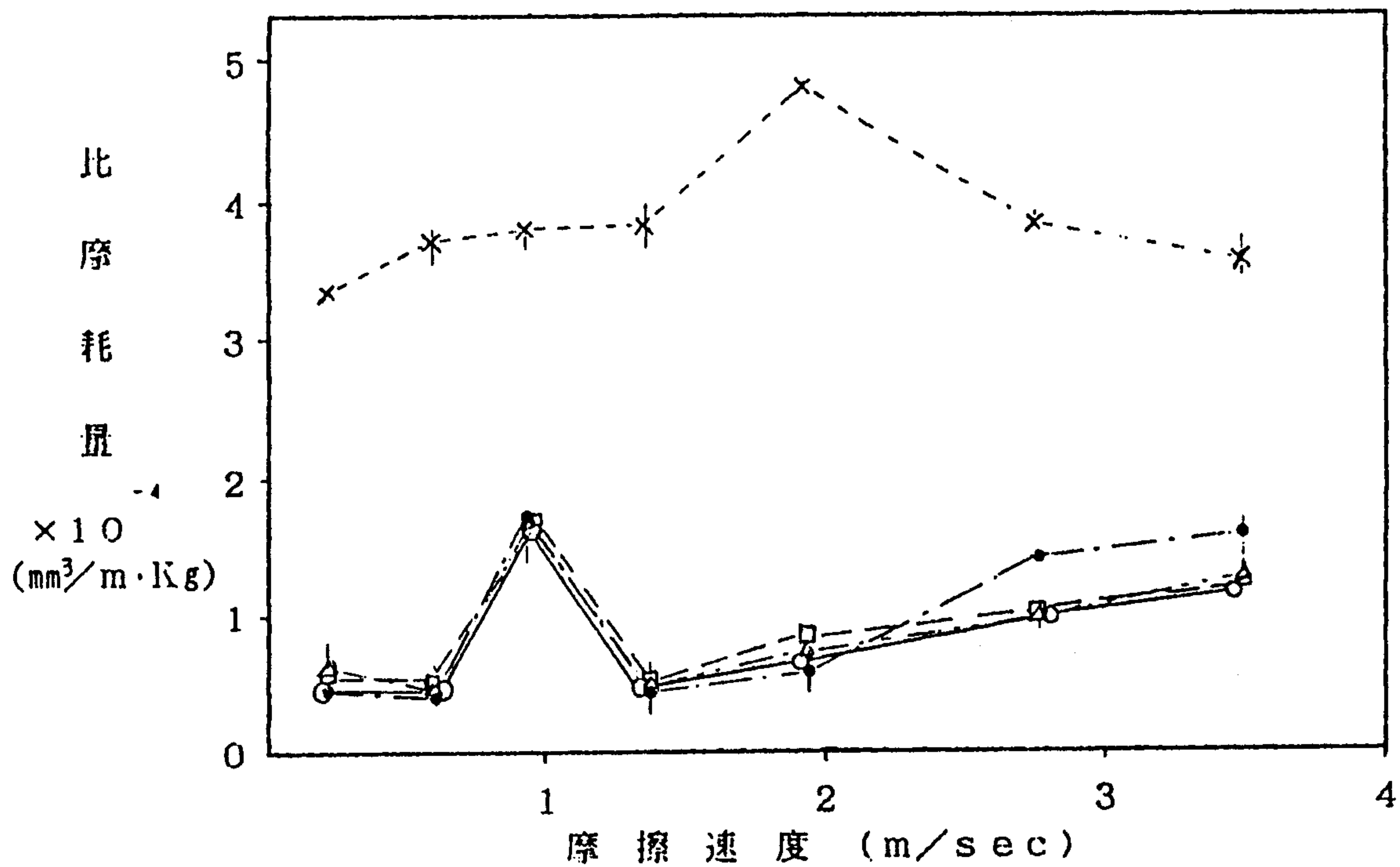
- A 未処理
- B ガス窒化 10 Hr
- C 浸硫窒化
- D ガス軟窒化 2 Hr
- E タフトライド
- F ナイトロテック

【解説】 ナイトロテックの耐摩耗性はガス軟窒化やタフトライドと同等です。しかしナイトロテックは他の処理より化合物層が 30 ~ 40 μm と厚い分より有利と言えます。

図4. 各種表面処理の摩耗遷移荷重（摩耗が急激に増加する荷重）

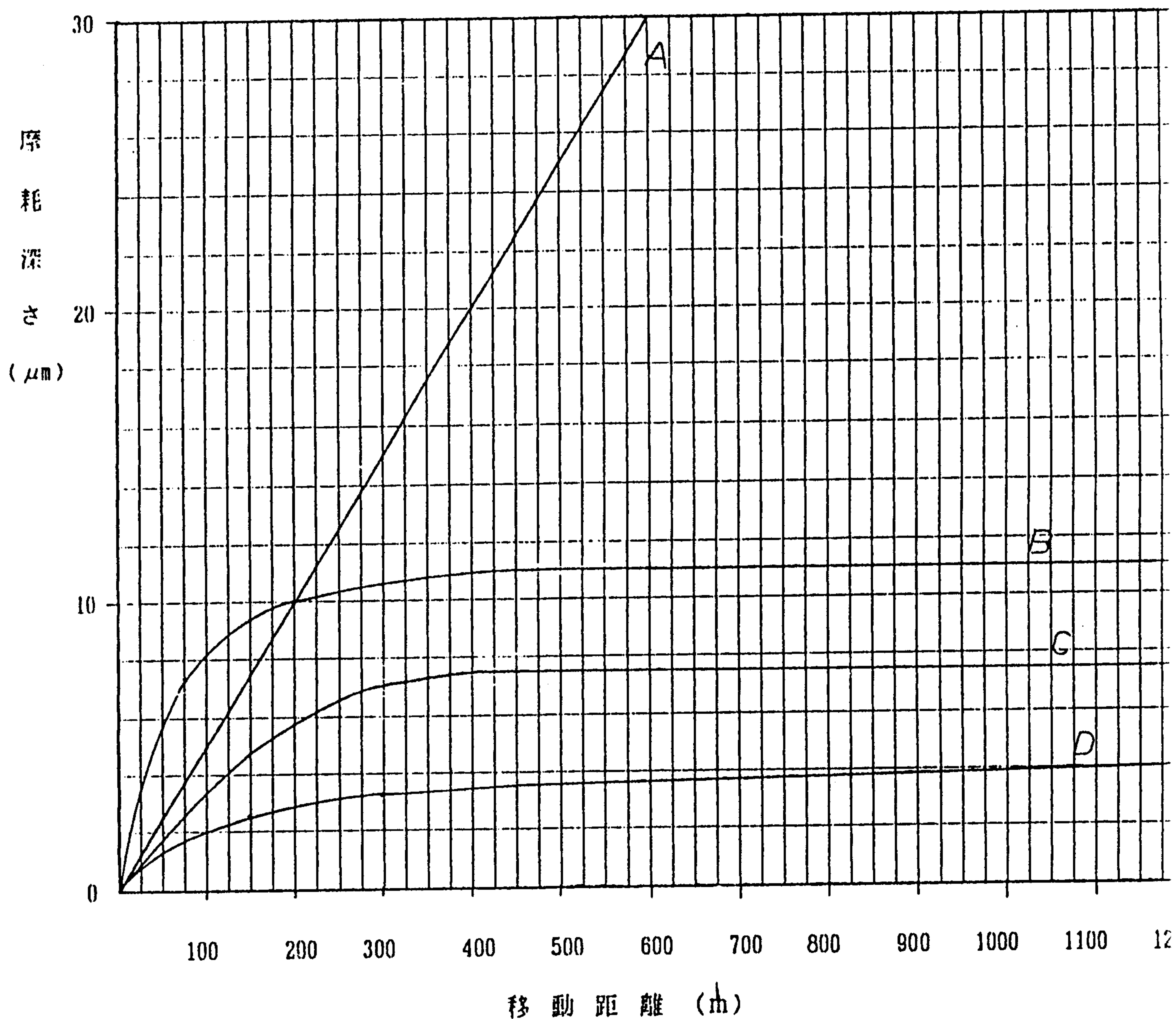


摩擦速度と摩耗量



【試験条件】	試験片	S 1 5 C	未処理	x ····· x
	荷重	6 Kg	ナイトロテック	o ····· o
	すべり	0 %	イオン窒化	• ····· •
	潤滑油	無し	ガス軟窒化	Δ ····· Δ
			ソルト軟窒化	□ ····· □

耐摩耗性

図 1. ε 相化合物層の非結合油摩擦試験

【試験条件】 摩擦圧力7.2Kgf/cm² 摩擦速度5 cm /sec 鋼種 S 15 C

A 未処理

B 海綿状多孔質化合物層

C 柱状多孔質化合物層 (Bを磨き加工した物)

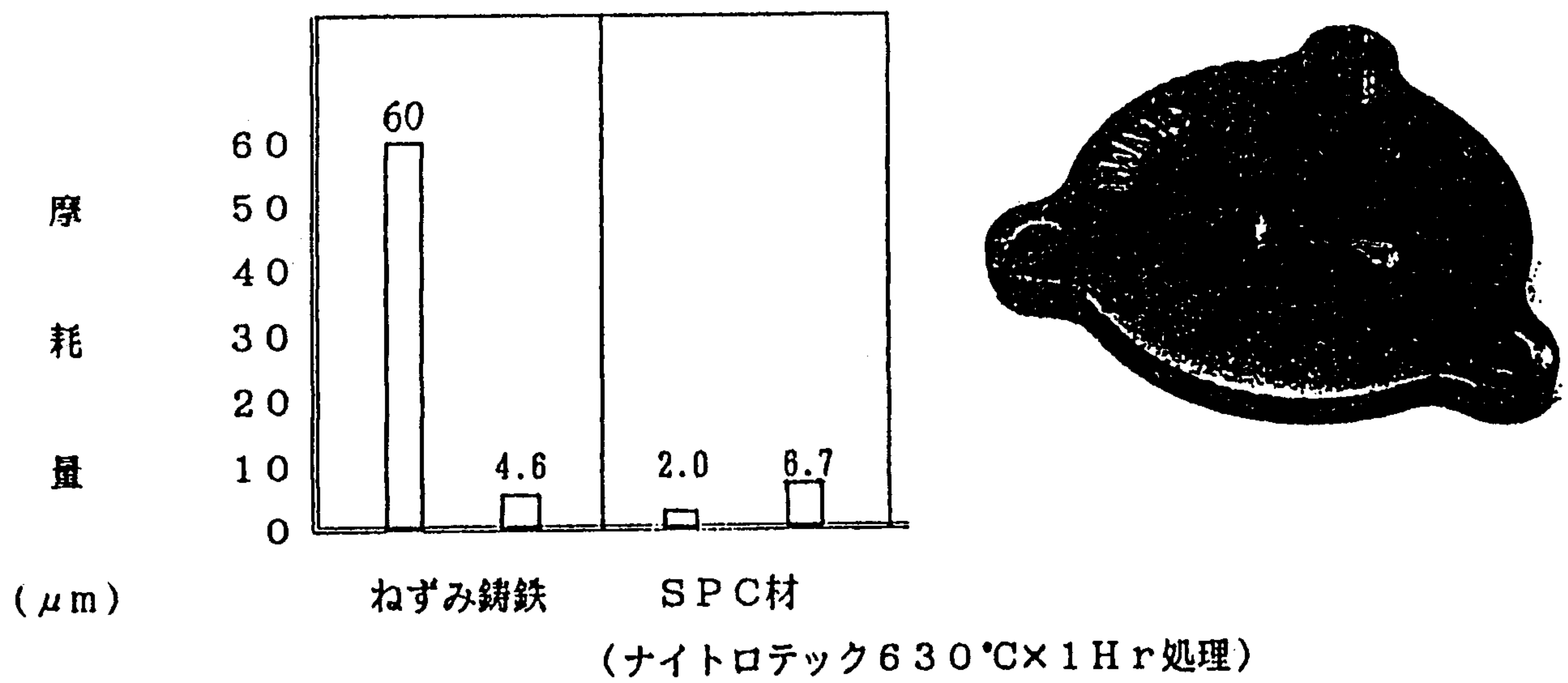
D 緻密化合物層

【解説】 ナイトロテックの多孔質化合物層 (ポラス層) は初期なじみの役割を果たします。

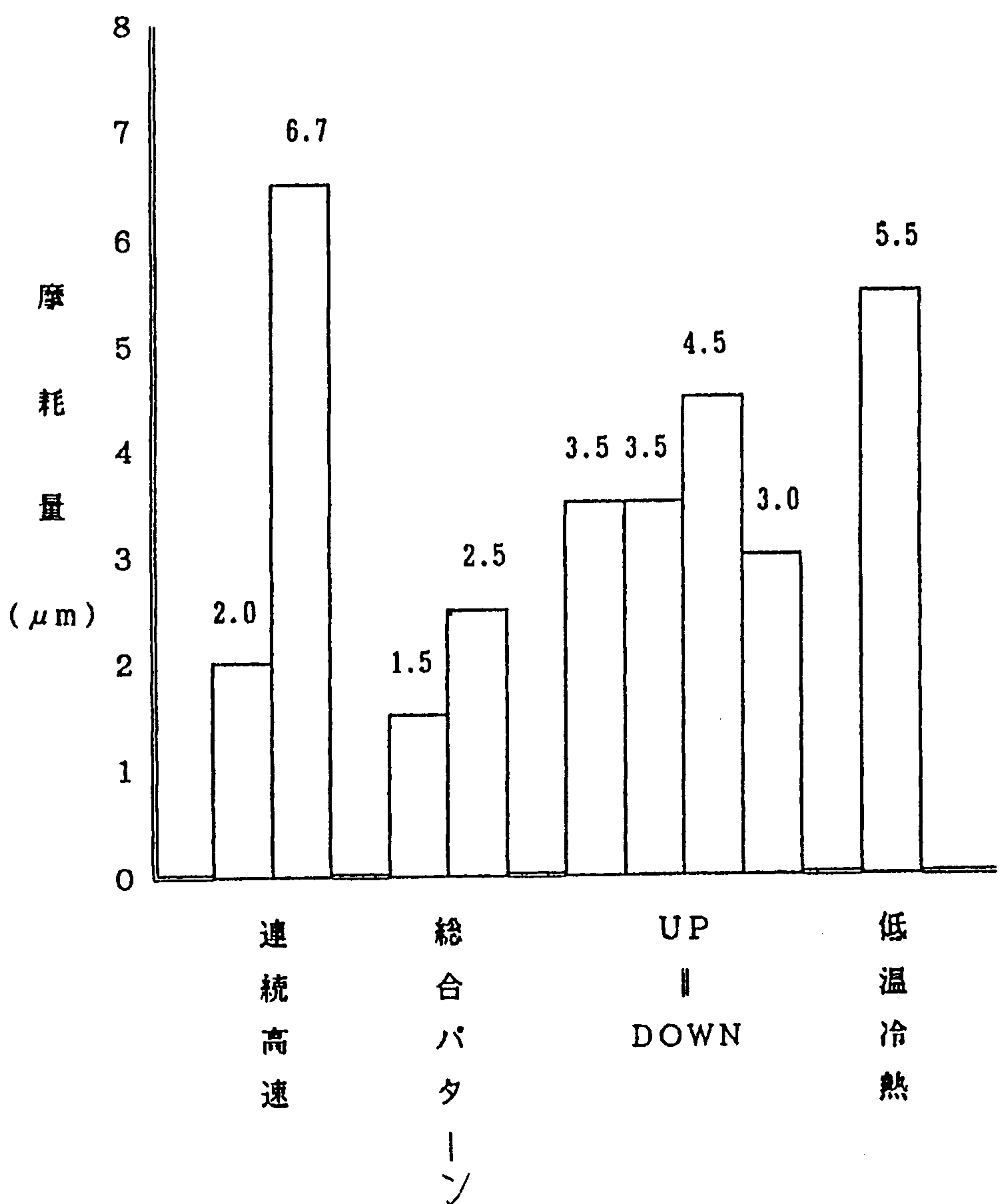
定常摩耗域での摩耗量はいずれも非常に少ないものです。

某自動車メーカーの4000CCエンジンオイルポンプカバーの耐摩耗テスト結果
 このメーカーは従来オイルポンプカバーに鋳鉄を使用されていたが今回SHP材にナイトロテック
 処理を行い摩耗量のテストを行ったところ良好な結果を得たので採用されました。

1. 連続高速(6000rpm)耐久テストの比較



2. ナイトロテック処理品の各種条件による摩耗量

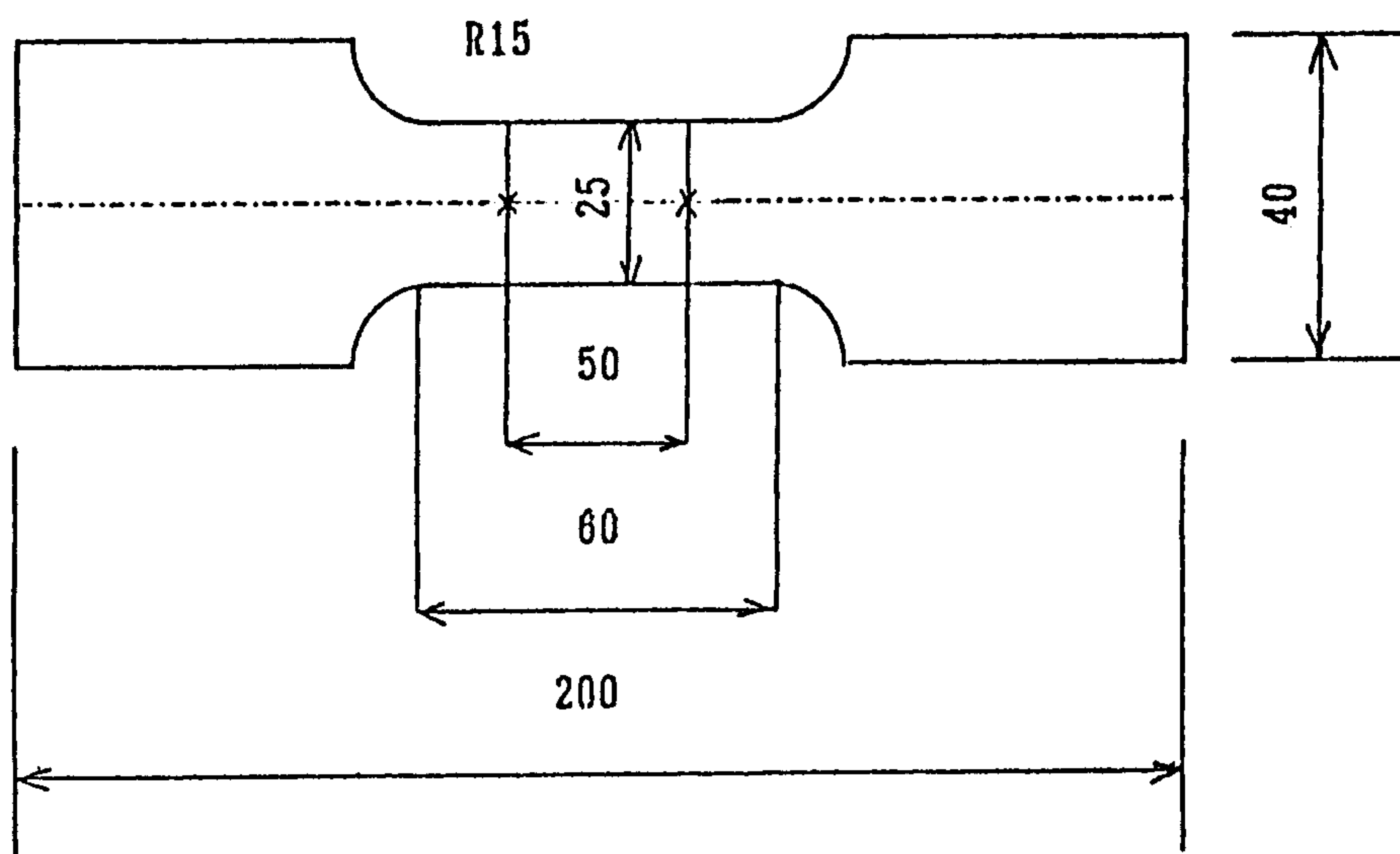


1. 材料

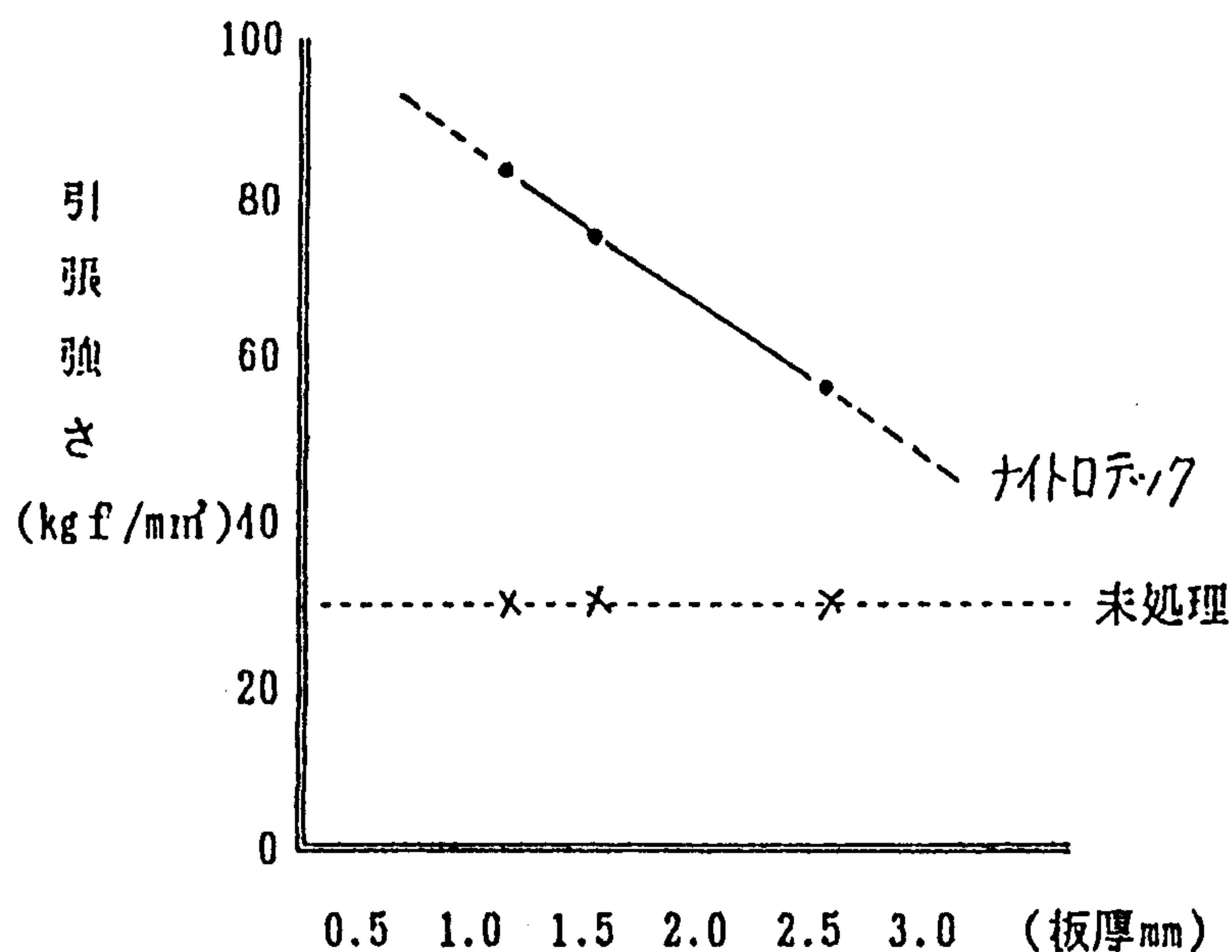
鋼種	鋼板厚さ(t)
SPCC	1.2mm
SPHC	1.6mmおよび2.6mm

25 40

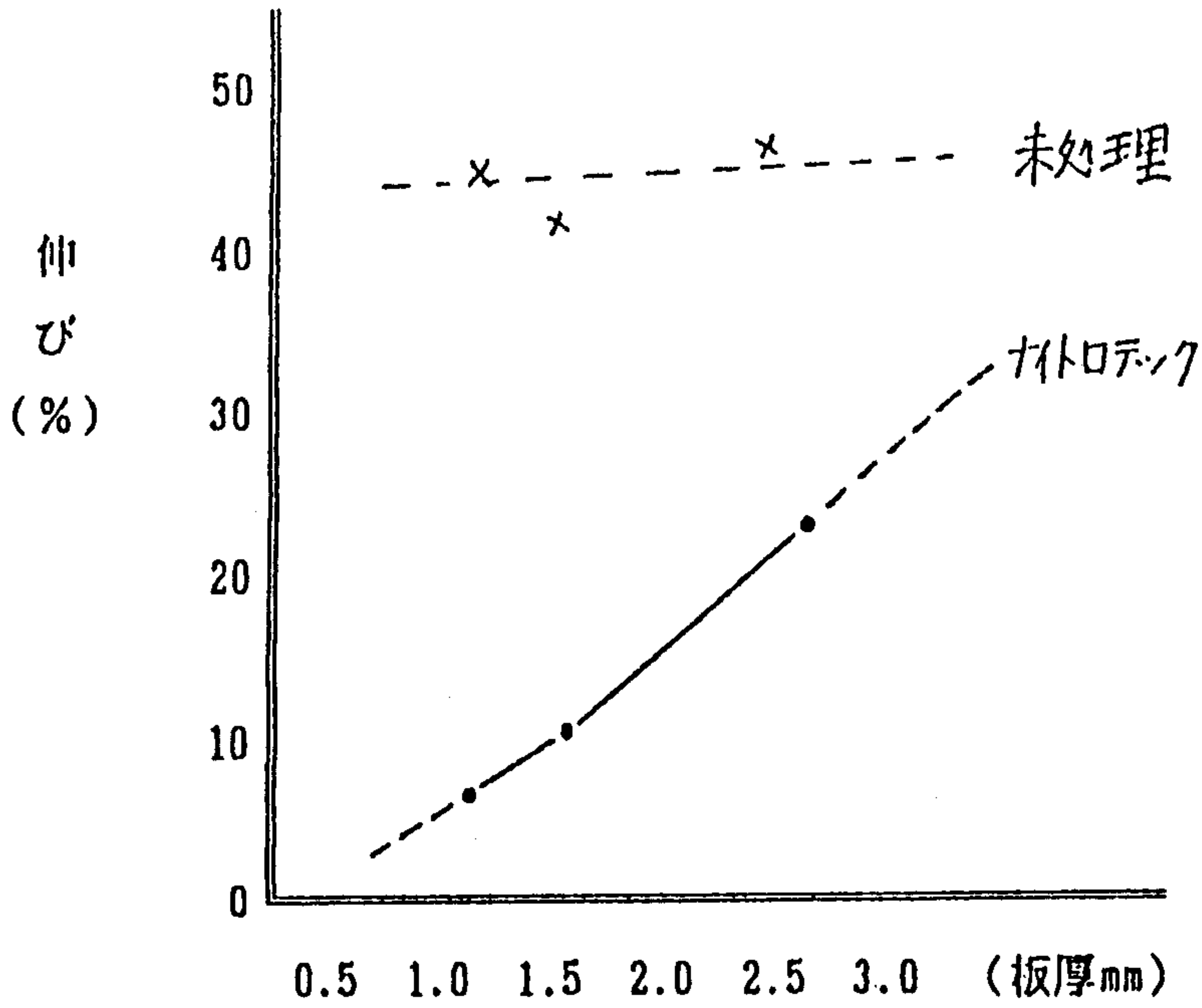
2. 試験片の形状（JIS5号試験片）



3. 引張強さ



4. 伸び

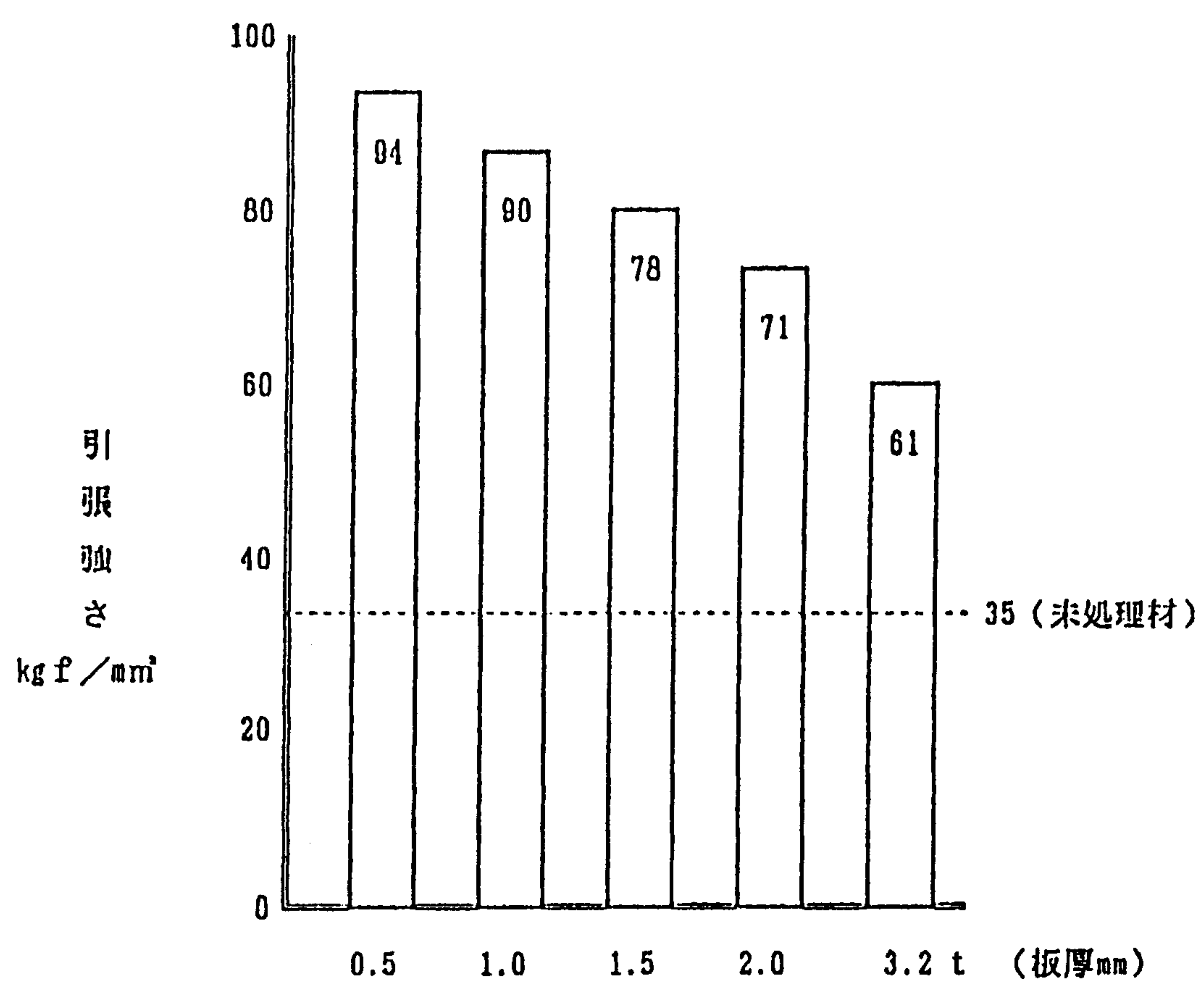


5. 未処理材と処理材との強度の比較

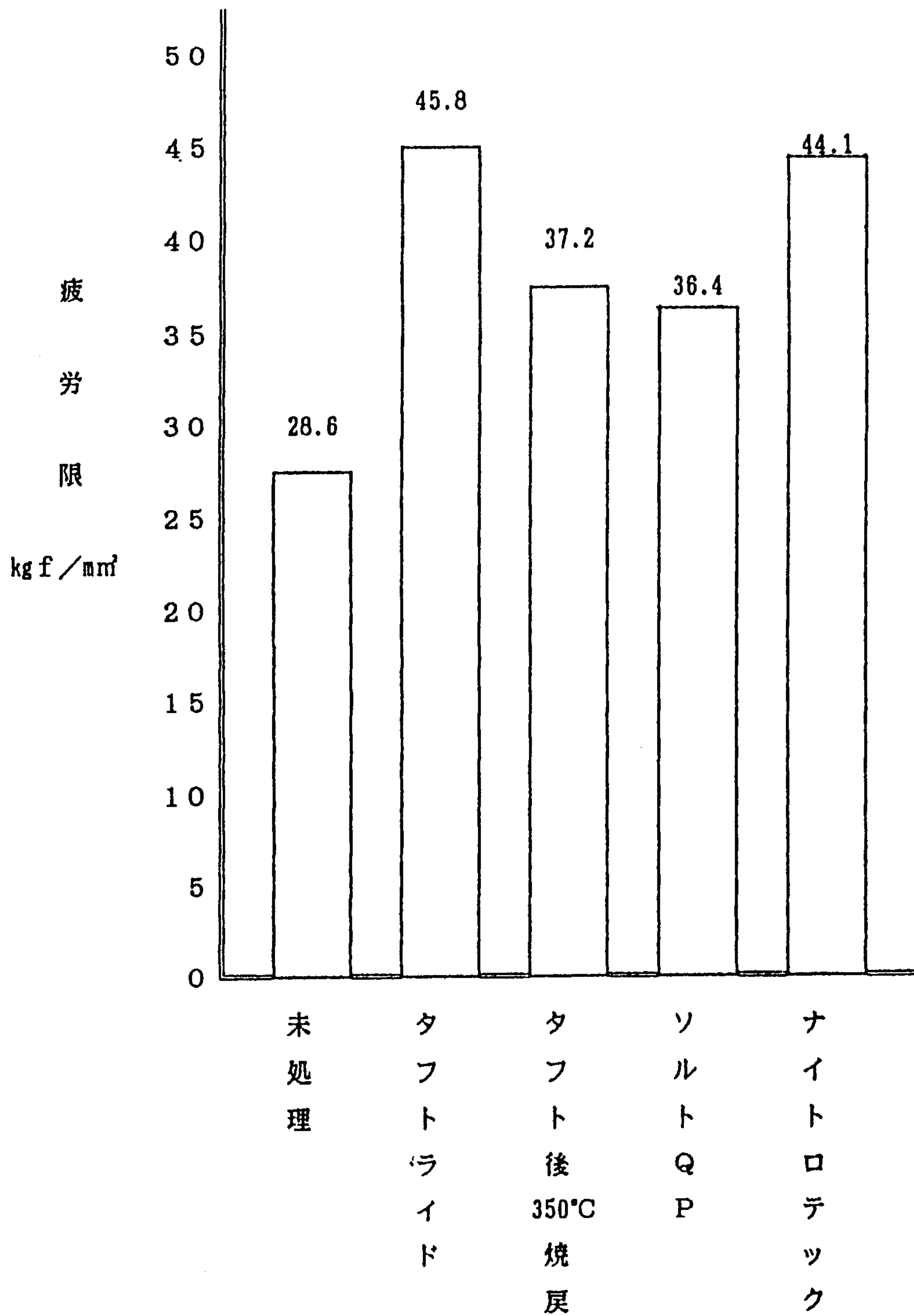
板厚 鋼種	未処理			処理後 (660°C×60分)		
	硬さ HV(5kg)	引張強さ (kg f/mm ²)	伸び HV(5kg)	硬さ HV(5kg)	引張強さ (kg f/mm ²)	伸び (%)
t=1.2 SPCC	110	32.3	44.4	332	83.0	7.0
	111	31.5	44.0	341	78.3	4.7
\bar{x}	111	31.9	44.2	337	80.7	5.9
t=1.6 SPCC	110	32.7	42.4	333	75.5	9.4
	113	30.7	39.0	377	76.5	11.0
\bar{x}	112	31.7	40.7	335	76.0	10.2
t=2.6 SPCC	108	35.8	47.0	380	56.4	22.0
	114	35.7	46.0	375	57.5	23.2
\bar{x}	111	35.8	46.5	378	57.0	22.6

2.6t材は
610°C×90分

ナイトロテック処理による材質 (S P C E) 1 時間処理の強度向上値

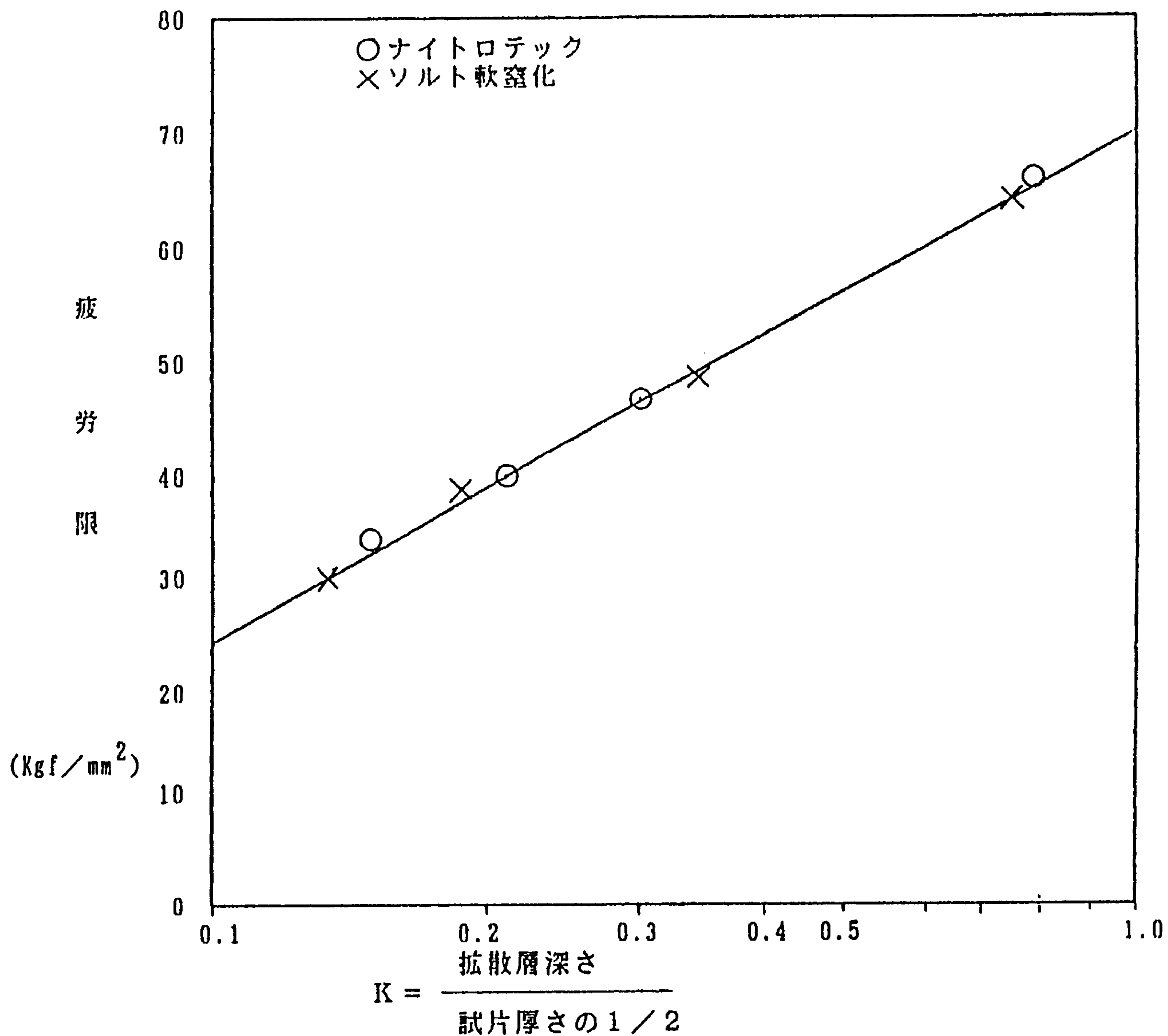


各種処理の回転曲げ疲労強度比較

(5000 rpm 10^8 サイクル)

耐疲労強度データ

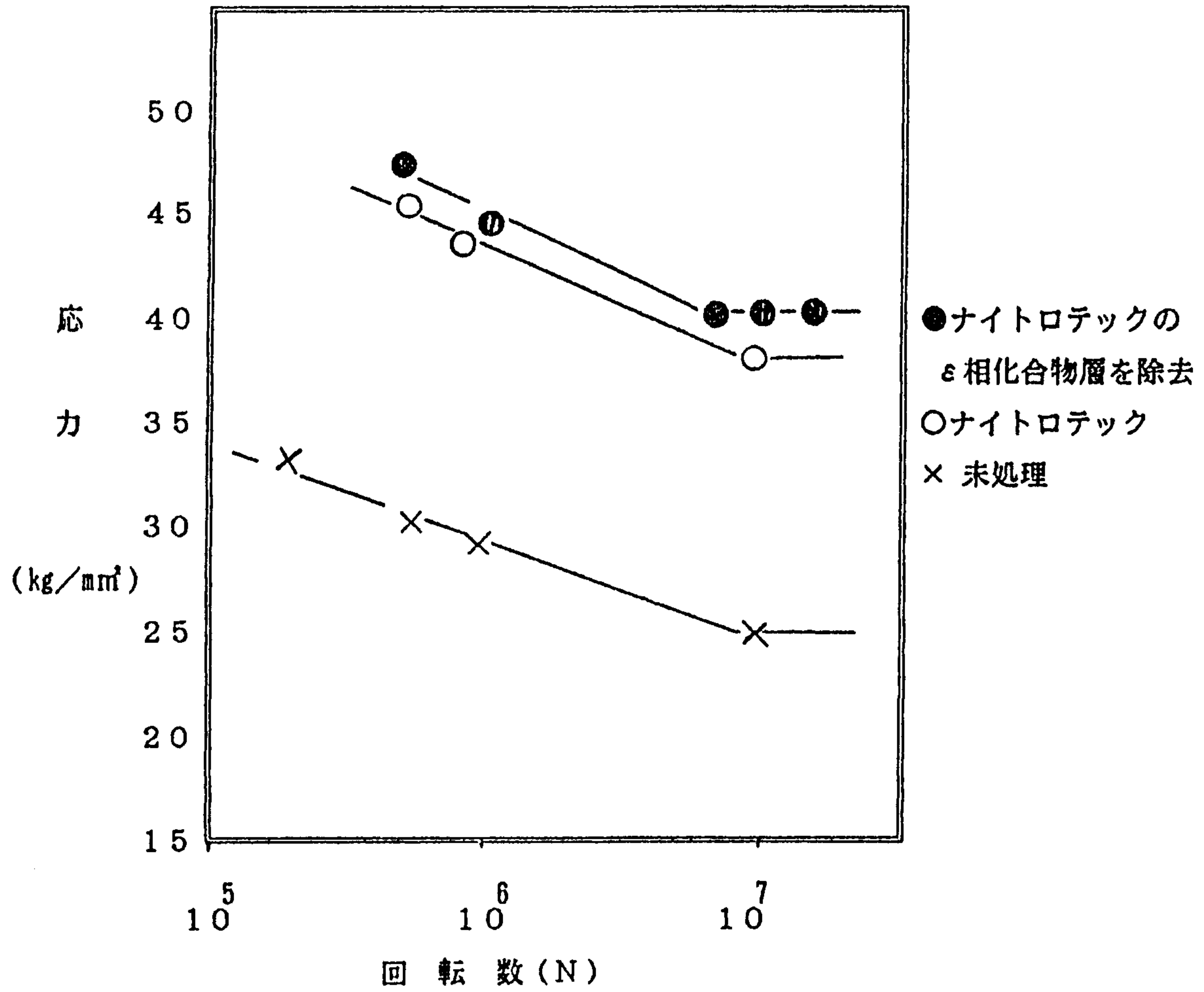
ソルト軟窒化とナイトロテックの疲労限 (10^8 サイクル)



〔解説〕

ソルト軟窒化でもナイトロテックでも拡散層深さが同じなら、疲労限は同じになります。ナイトロテック処理は深い拡散層を簡単に経済的に得られますのでそのてん有利です。

ナイトロテックの ϵ 相化合物層を
除去した場合の疲労強度(平滑試験片)



【解説】疲労強度は拡散層によって決まります。

耐 食 性

各処理の塩水噴霧試験による発錆時間比較

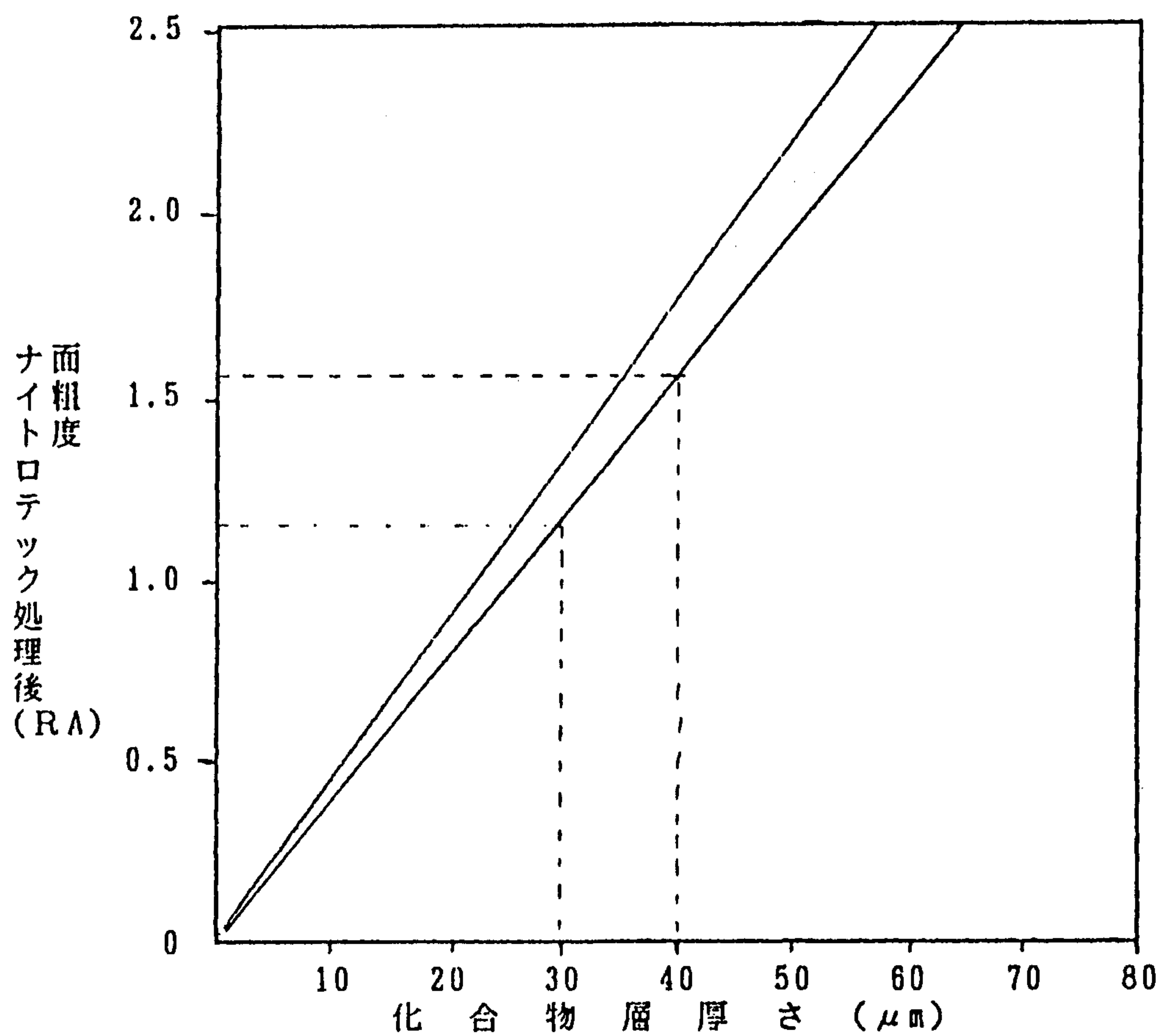
試験条件 試験温度 ; 35 ± 2°C

食塩水濃度 ; 5wt%

処 理 条 件	発錆時間(Hr)	
ガ ス 軟 窒 化	ワックスなし	17
	ワックス処理	46
ナイトロテック	ワックスなし	120
	ワックス処理	360
ナイトロテック S	ワックスなし	240
	ワックス処理	500
硬質Crメッキ	20 μm	72
	30 μm	120
S Q , Q P Q	ワックスなし	200
18-8ステンレス	ワックスなし	250

面粗度

ナイトロテック処理後の面粗度に及ぼす化合物層厚さの影響



【解説】面粗度は化合物層厚さが深くなるにつれて悪くなります。

ピストンロッドのナイトロテックS処理による面粗度の変化

測定時期	ナイトロテック前 (研磨状態)	ナイトロテック後	再磨き後	再酸化後 (完成品)
面粗度 (Ra) μm	0.3	0.6	0.2	0.2

【解説】ナイトロテック処理により面粗度は若干悪くなりますが再酸化処理では面粗度は変化しません。

寸法変化

ナイトロテックによる膨張量

膨張量は化合物層厚さの約1/4です。ε化合物層は通常30~40μmで全面に生成します。

板の厚さや棒の直径では両側に化合物層がありますので

$(30 \sim 40) \times 1/4 \times 2 = 15 \sim 20 \mu\text{m}$ の膨張があります。

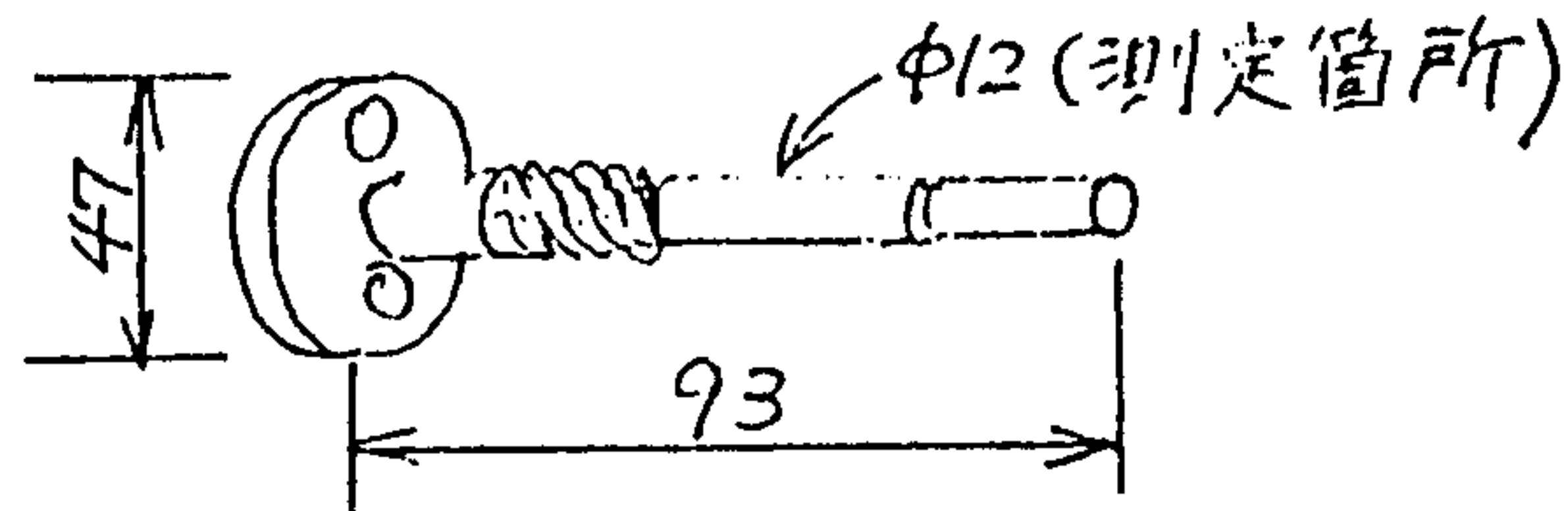
大きさ、鋼種、ナイトロテック処理条件が決まれば寸法変化量はバラツキも含め10μmの範囲で管理できます。

シャフトギヤの寸法変化例

鋼種 SCM415 個数 5個 熱処理 ナイトロテック(610°C×80分)

ε化合物層 35μm

ナイトロテック前	ナイトロテック後	寸法変化量
12.154mm	12.175mm	+21μm

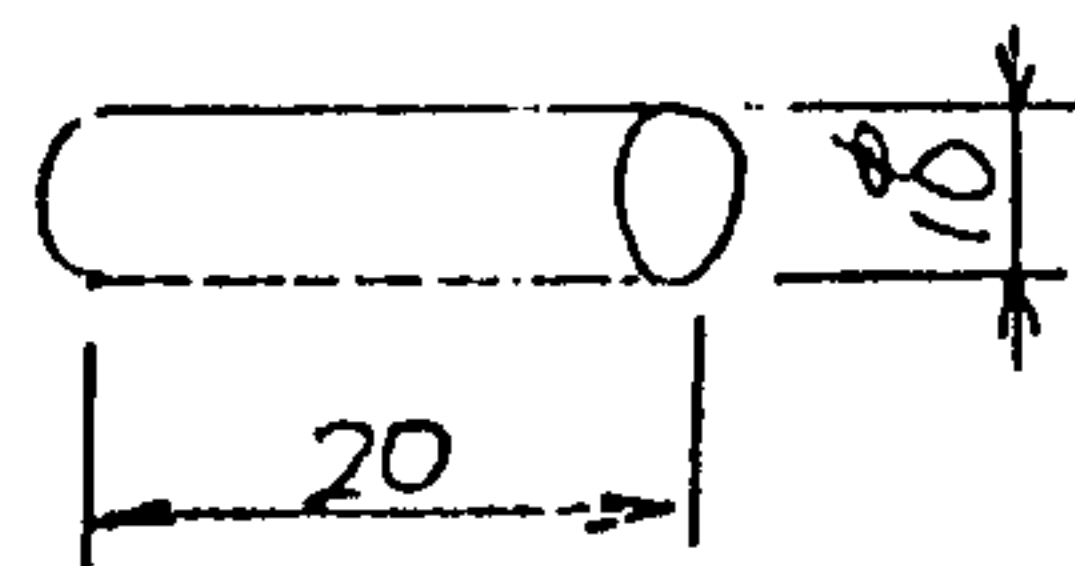


ピンの寸法変化例

鋼種 SGD41 個数 6個 熱処理 ナイトロテック(630°C×60分)

ε化合物層 25μm

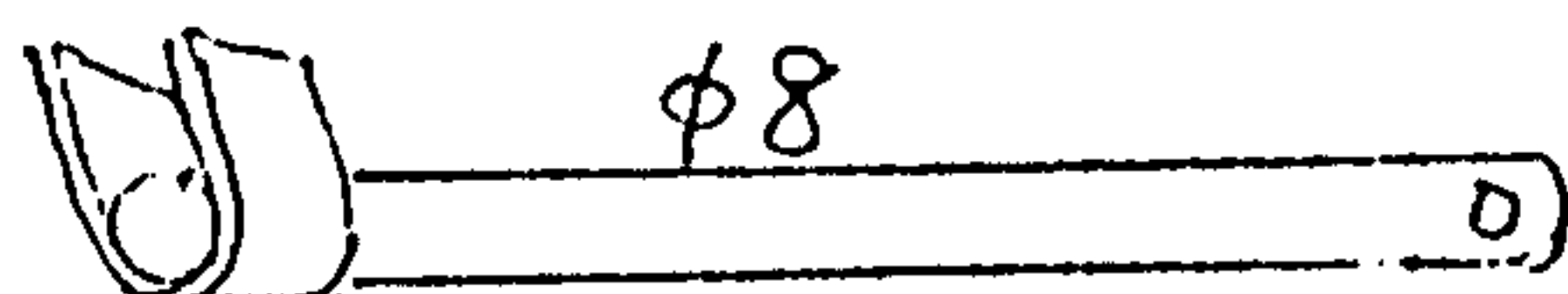
ナイトロテック前	ナイトロテック後	寸法変化量
9.978mm	9.992mm	+14μm



プッシュロッドの寸法変化例

鋼種 S15C 個数 12個 熱処理 ナイトロテック (610°C×90分)
 ϵ 化合物層 27 μm

ナイトロテック前	ナイトロテック後	寸法変化量
7.976mm	7.989mm	+13 μm

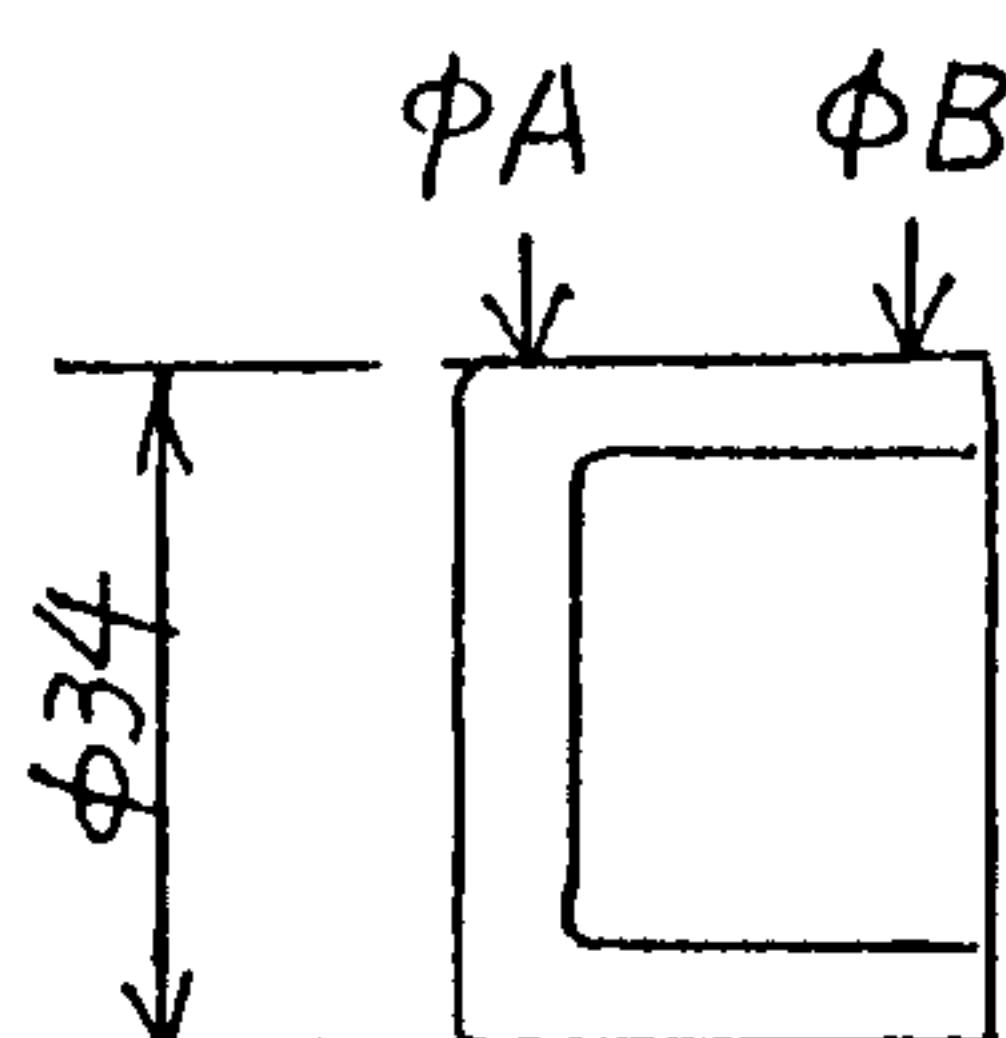


ブレーキピストンの寸法変化例

鋼種 S15C 個数 30個 熱処理 ナイトロテック (630°C×75分)
 ϵ 化合物層 38 μm

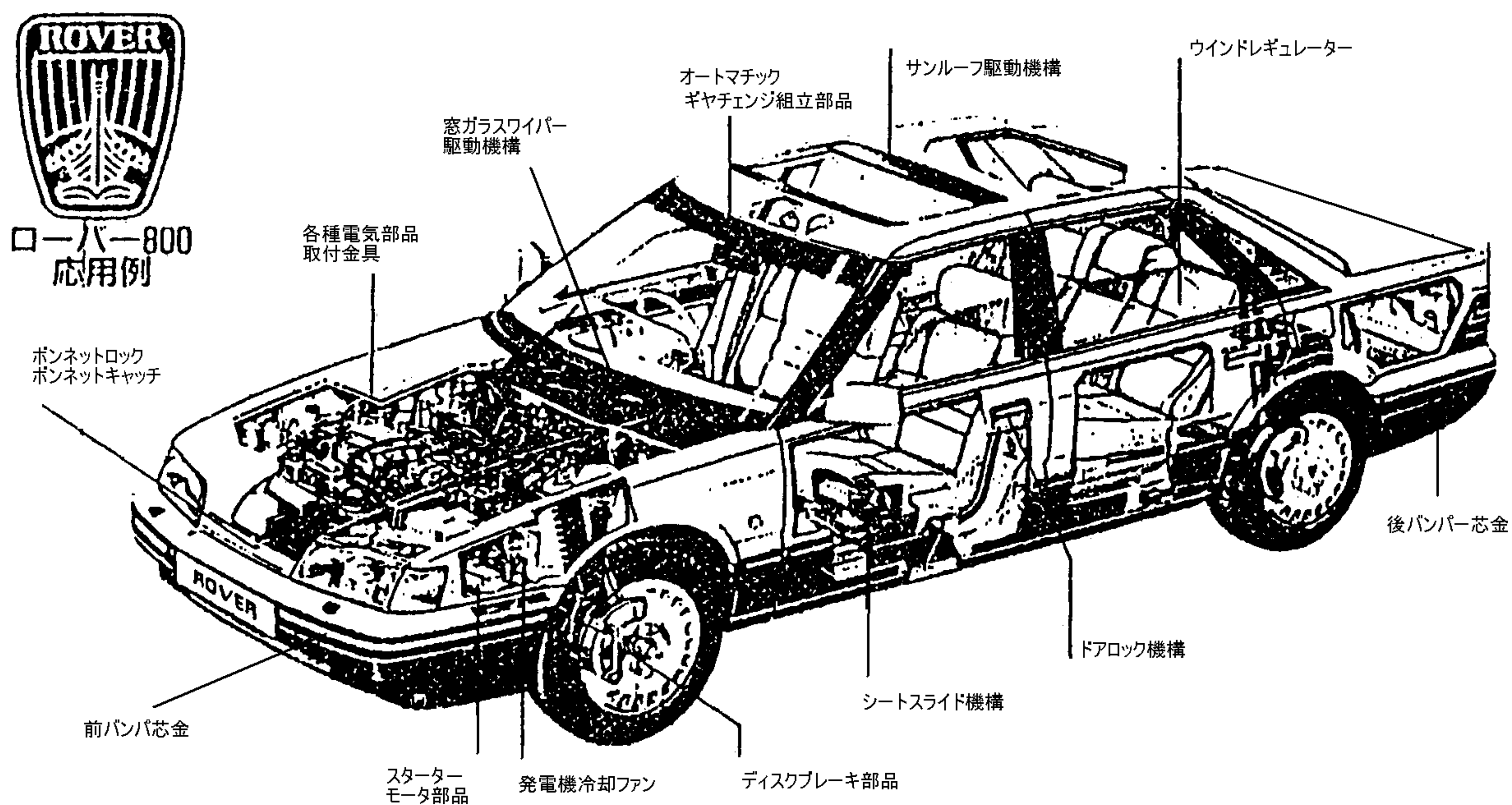
位置	ナイトロテック前	ナイトロテック後	寸法変化量
A	33.929mm	33.975mm	+46 μm
B	33.931mm	33.981mm	+50 μm

寸法変化量が大きいのは、ブレーキピストンの質量効果によるものです。



ナイトロテックの応用例

英国 ローバー800の応用例



日本（試作中の物も含む）

自動車 ビスココントロール板 オイルポンプカバー シートスライドチャンネル ブレーキケース
クラッチプレート ブレーキピストン リヤードアーキャッチ

芝川機 プーリー

自転車 変速スプロケット

○ A ドットプリンター受台

電機 電磁開閉鉄心