

第3章 Ti-Ni形状記憶合金薄板の集合組織に及ぼす熱処理温度の効果

3-1 緒言

形状記憶合金薄板を用いて2次元形状のアクチュエータなどに応用するためには、加工や熱処理による材料特性の変化を評価する必要がある¹⁻³⁾。材料特性に影響を与える因子には、熱処理温度と冷間圧延率がある⁴⁻⁶⁾。そのために、この章では冷間圧延率が40%の試料について、熱処理温度の効果を明らかにすることを目的としている。用いた試料はTi-50.18at%Niで、973K-0.6ksで熱処理された厚さ0.2mmの試料について、冷間圧延率40%で圧延加工を施した後、熱処理温度を573K~1273Kの間で変化させ、加工集合組織及び、再結晶集合組織を持つ試料を用意した。DSC測定により、各試料の変態温度を測定した。X線回折による極点図測定を{110}、{200}、{211}の3面からの回折を用いて行い、集合組織を測定した。得られた集合組織の情報を基にマルテンサイト変態歪みを計算により求めた。また一定加重下で冷却・加熱を行うことで、実験的にも変態歪みを評価した。

3-2 試料作成と実験方法

試料作成方法と実験方法は2-1でも述べたが、ここでは、熱処理温度の効果の実験に関連する部分について詳しく説明する。

用いた試料は、Ti-50.18at%Niのインゴットを多段ロールの圧延機を用いて、厚さ0.2mmの試料を作成した。その試料に対して973K-0.6ksで熱処理を行い、再結晶した状態の試料とした。この試料をスタート材として、最終冷間圧延率が40%の試料を作成した。この試料は、幅50mmで、厚さ0.12mmの試料である。ここで、このTi-50.18at%Niの組成の冷間圧延材を用いる理由は、673K付近で熱処理を行った試料でR相変態が利用出来る事と、すべり変形が起こりにくく、安定した形状記憶特性を引き出すことが可能であるため、アクチュエータ材料に用いるのに最適だからである。この圧延薄板をワイヤ放電加工機で試料を切り出し、それぞれの測定用の試料を作成した。これらの試料に対して、573K~1273Kの間で熱処理温度を変化させ、1時間の熱処理を行い、それぞれの試料を作成した。また、as rolled材についても測定を行った。

3-3 実験結果及び考察

3-3-1 変態温度の熱処理温度依存性

まず始めに、変態温度を評価するために、DSC測定を行った。Fig.3-1は、各熱処理温度の試料のDSC曲線である。Fig.3-1の左の図は冷却時の曲線、Fig.3-1の右の図は加熱時の曲線を示している。まず、冷却時の曲線について評価を行ってみる。573K材では、母相からマルテンサイト相に1段階で変態している。しかし、673K材では、R相変態が現れ、母相からまずR相に変態し、その後マルテンサイト相に変態していることがわかる。これは、加工組織の影響でR相変態が現れていると考えられる。一方、793K以上の熱処理温度では、母相から一段階でマルテンサイトに変態していることが解る。R相が現れる673K材では、マルテンサイト変態温度が極端に低くなっているが、その他の熱処理材の試料では、ほぼ同じ変態温度を示している。また、ここには載せていないが、熱処理を行っていないas rolled材についても測定を行ってみたが、DSC中で523Kまで加熱を行っても、逆変態ピークが確認できなかった。この事は、as rolled材は、加工組織の影響でマルテンサイト状態になっていて、逆変態がしにくいことを表している。次に加熱曲線についても同様の評価を行う。573K材では、マルテンサイト相から母相に一段階で逆変態している。673K材では、マルテンサイト相からR相への逆変態ピークと、R相から母相への変態ピークが重なっている。793Kよりも高い温度で熱処理を行った試料では、いずれの場合でも、マルテンサイト相から、母相への1段階の逆変態ピークのみが見られた。また、673K材では、R相逆変態が起こる。この影響で、逆変態温度が低下する。他の試料に関しては、変態温度はほぼ同じである。

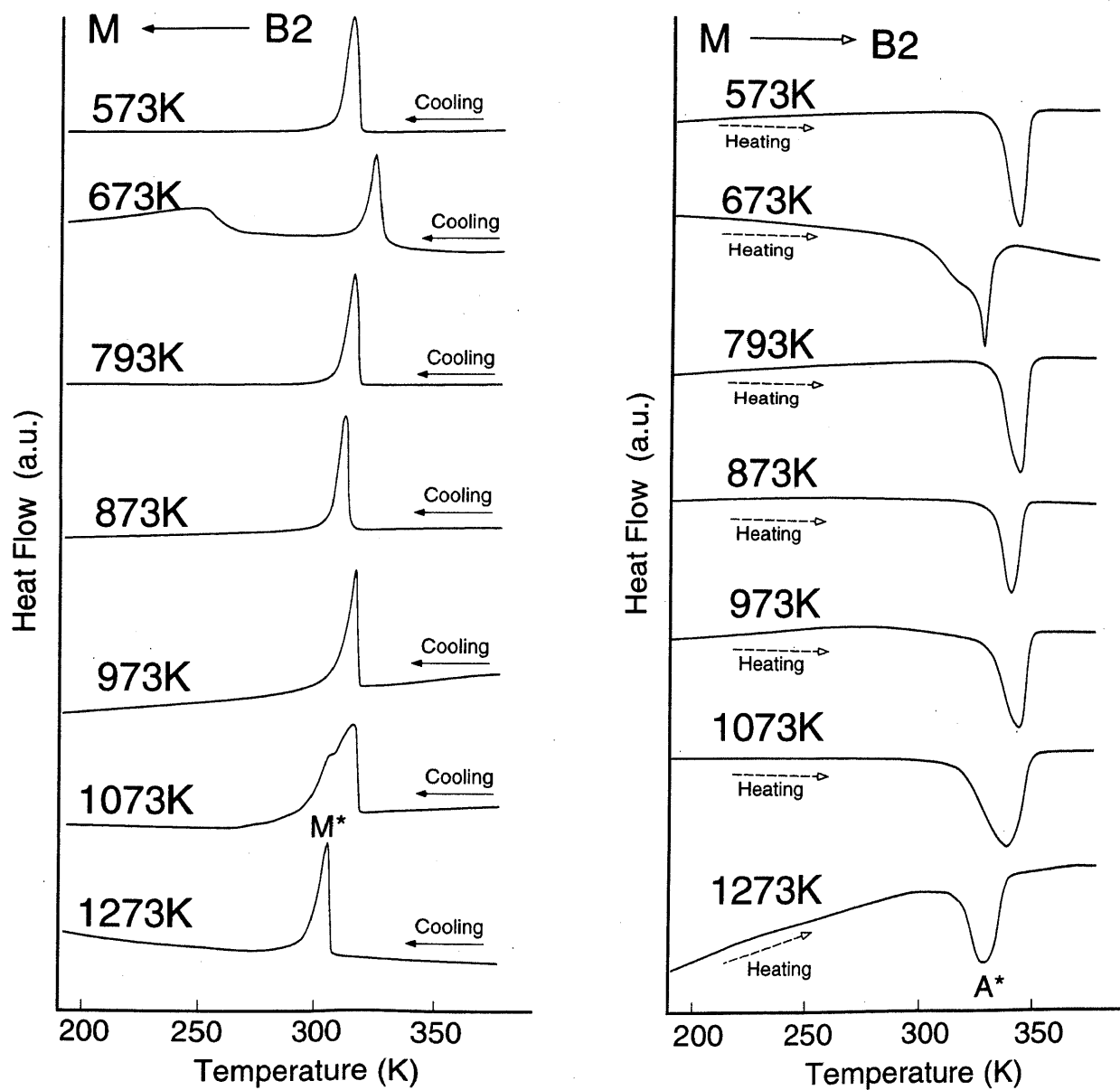


Fig.3-1 各熱処理温度の試料のDSC曲線

3-3-2 集合組織の熱処理温度依存性の評価

集合組織には、加工集合組織と再結晶集合組織がある。一般に加工集合組織とは、圧延直後の試料(as rolled材)の集合組織の事を指すが、as rolled材においては、マルテンサイト相が安定化していて、母相の状態での極点図測定が出来なかった。また、573K、673K材では、回復が起きているため加工組織は減少しているが、十分な再結晶は起きていない。回復は十分起こっていない。そのため、この集合組織は、加工集合組織に近いものである。これからは、この十分回復が起こっていない試料(1次の再結晶集合組織)を、加工集合組織と呼ぶことにする。集合組織の評価方法には、正極点図、結晶方位分布関数ODF、逆極点図の3つがある。まずは、正極点図について評価を行う。

○正極点図

まず、正極点図を用いて集合組織の評価を行ってみたいと思う。Fig.3-2は、得られた集合組織の代表的なものである。左側が673K熱処理材で、加工集合組織の例である。右側が793K熱処理材で、再結晶集合組織の例である。熱処理温度を変えることにより、基本的には加工集合組織と再結晶集合組織が得られる。

始めに、加工集合組織を持つ673K材について述べる。Fig.3-2の左の図は、上から、 $\{110\}$ 、 $\{200\}$ 、 $\{211\}$ のそれぞれ面についての正極点図を示している。また、図中の○印は、圧延面、圧延方向に対して、 $\{110\}\langle 1\bar{1}0\rangle$ の単結晶試料が存在したときに現れる、スポットを正極点図上に表したものである。また、△は、 $\{111\}\langle \bar{1}\bar{1}2\rangle$ 系の場合のスポットを示している。 $\{110\}$ 極点図では、中心から35度の円周上に強度を持っており、△印がその上に分布している。この事は、この強度に対応するピークは $\{111\}$ 面に対応しているが、方向はユニークには決まらず広がりを持っている。それぞれの結晶粒の圧延面が $\{111\}$ で、方向が面内で完全にランダムになっていれば、 $\{111\}$ 繊維集合組織と呼ばれる集合組織になる。しかし、 $\{110\}$ 正極点図を見る限りでは、 $\{111\}$ 面に対応するリングは、部分的に欠けがあり、完全な繊維集合組織ではなく、 $\{111\}$ ファイバーライクな集合組織である事が解る。さらに見ると、中心から60度の所の、○印に近い4箇所強度が集中している。この事は、 $\{110\}\langle 1\bar{1}0\rangle$ 集合組織も存在することを示している。

次に $\{200\}$ 極点図について見ていくことにする。 $\{200\}$ 極点図では、中心から、上下に45度の場所に強度を持っており、○印と対応する。また、中心から55度の部分にも強度があり、△印と対応する。さらに、55度のピークは、正極点図上の $\{111\}$ 面に対応する円周上に左右に広がっていることが分かる。このことから、 $\{110\}\langle 1\bar{1}0\rangle$ 集合組織と、 $\{111\}\langle \bar{1}\bar{1}2\rangle$ を中心とする方向に、広がりを持つ集合組織が存在することが解る。次に $\{211\}$ 面について見ていくと、中心から20度~30度の周辺に強度があることがわかる。これらは、△印と、○印の集合組織に対応したものであることが解る。さらに詳しく見ると、55度と75度の○印に対応する部分には、ピークらしいものが存在する。

次に、Fig.3-2の右側に示しているように、再結晶集合組織である793K材について、見ていくことにする。 $\{110\}$ 正極点図では、中心付近と、中心から60度離れた4箇所が強度が集中しており、○印に対応している。これは、典型的な $\{110\}\langle 1\bar{1}0\rangle$ 集合組織である。 $\{200\}$ 正極点図では、中心から45度離れた部分に強度を持っており、○印に対応している。このことから、典型的な $\{110\}\langle 1\bar{1}0\rangle$ 集合組織を持つことが解る。 $\{211\}$ 正極点図では、中心のまわり4箇所と、中心から75度付近に4箇所、強度を持つ部分が存在しており、○印に対応している。この事からも、典型的な $\{110\}\langle 1\bar{1}0\rangle$ 集合組織を持つことが解る。従って、再結晶集合組織の試料では、いずれの正極点図の情報からも、 $\{110\}\langle 1\bar{1}0\rangle$ 集合組織を持つことが解る。

このような集合組織は、熱処理温度が変わると変化する。このため、次に熱処理温度の影響の大きい $\{110\}$ 正極点図に注目して、評価を行うことにする。

Fig.3-3は、 $\{110\}$ 正極点図について、熱処理の効果を系統的に示したものである。573K材、673K材はいずれも加工集合組織であり、正極点図は基本的に変わらない。793K以上の熱処理では再結晶集合組織の状態であり、明瞭なピークが対称に存在する。さらに、熱処理温度が増加するにしたがって、最大強度が増加している。しかし、1273K材では最大強度は113と極端に高くなる。弱いところを浮き上がらせて示すと、再結晶集合組織のピーク位置が認められ、全体的な密度は弱まっているが、典型的な再結晶集合組織を持っている。この強い強度は、粒成長が特に進行した部分からのものと考えられる。

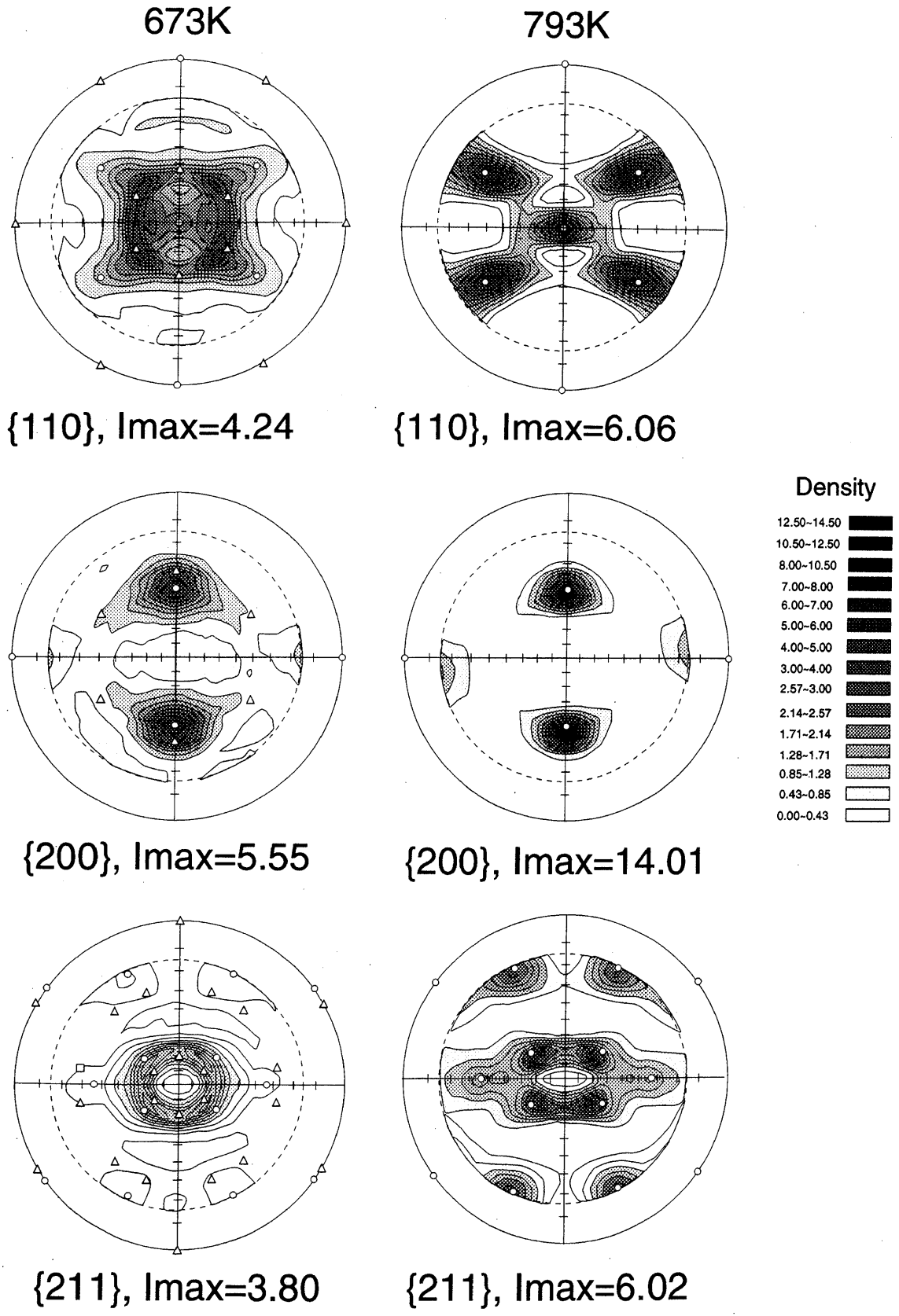


Fig.3-2 673K、793K材の{110}、{200}、{211}3面の正極点図

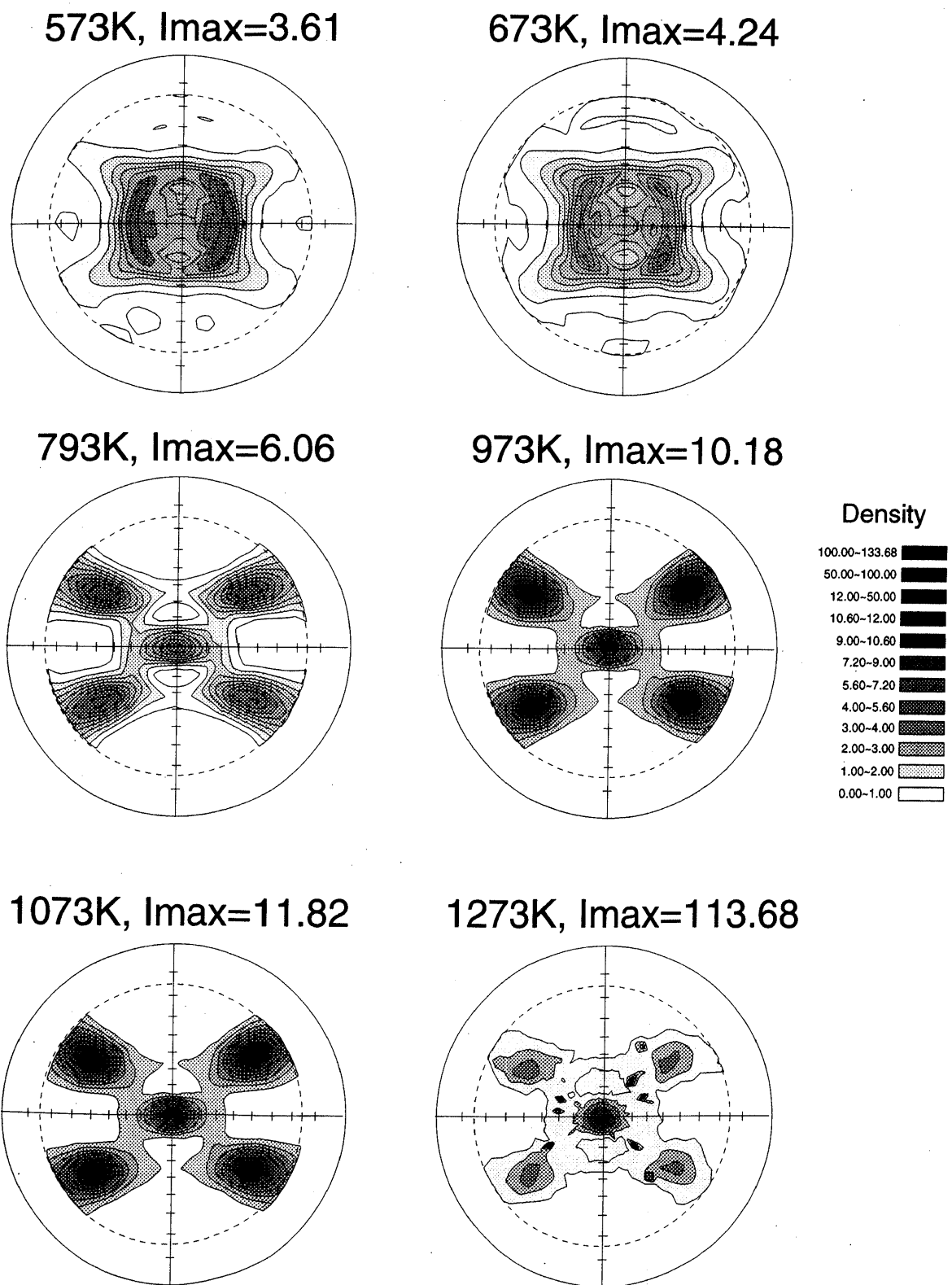


Fig.3-3 各熱処理材の{110}正極点図

○結晶方位分布関数ODF

3面の正極点図から、結晶方位分布関数ODFを導出することができる。詳しい導出方法は、2-3-3で述べたとおりである。ODFは、 ψ_1, ϕ, ψ_2 を直行座標にとった3次元空間の密度分布で表せるが、結晶方位分布関数は、 ψ_2 を一定にした断面である $\psi_1-\phi$ 断面を用いるのが一般的である。また、 ψ_2 が、0度、20度、25度、35度、45度、55度、65度、70度、90度の場合については、Fig.3-4のような図を用いれば、集合組織が読み取れる。Fig.3-4は、各 ψ_2 断面に現れる典型的な集合組織を示している。

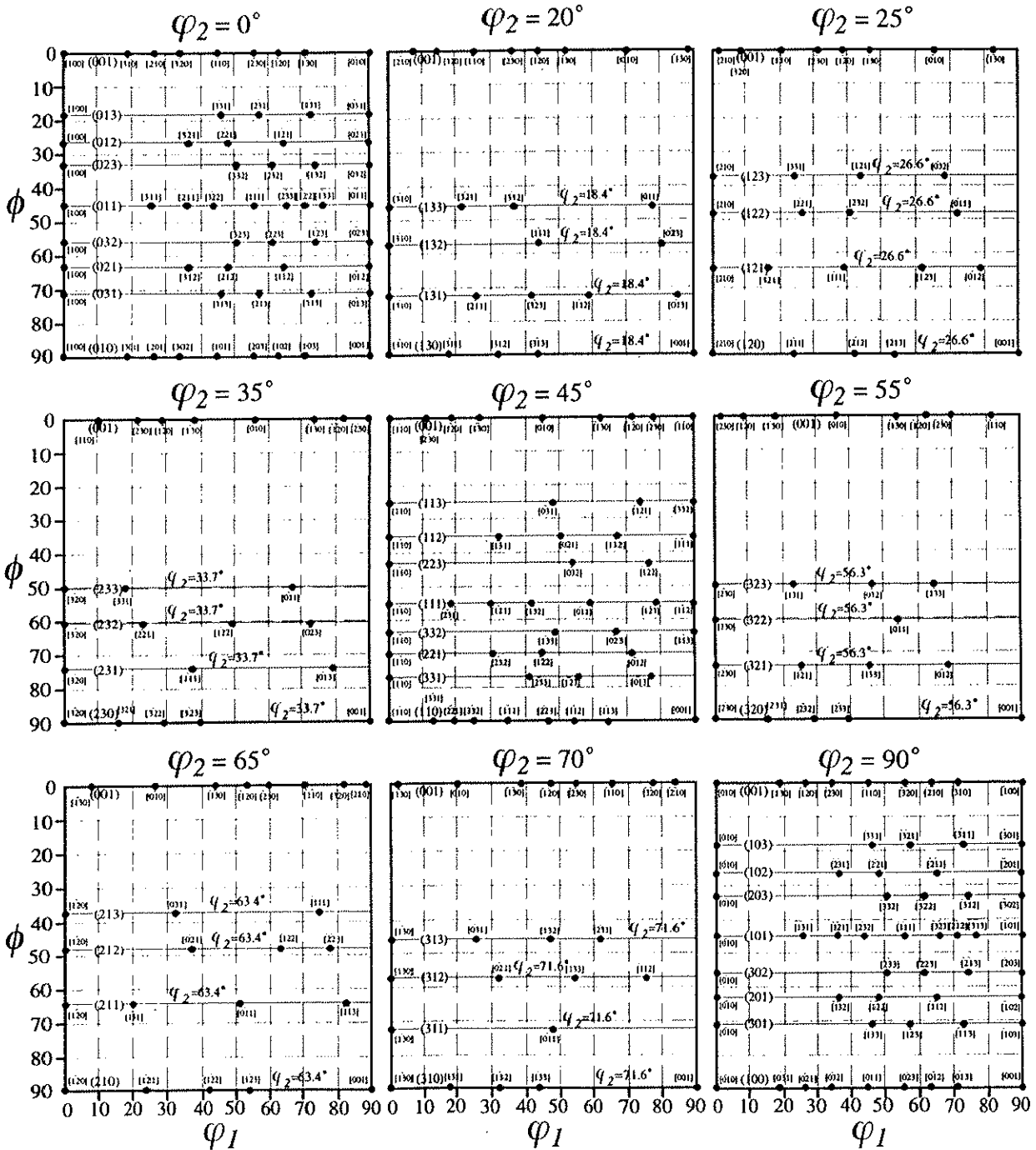


Fig.3-4 ODFのそれぞれの ψ_2 断面に現れる典型的な集合組織⁷⁾

Fig. 3-4を用いて、どのような集合組織が存在するかを評価できる。この評価方法を用いて、集合組織を圧延面と圧延方向の組み合わせで、具体的に評価を行いたいと思う。

Fig.3-5は、 ψ_2 が、0度、20度、25度、35度、45度、55度、65度、70度、90度の場合のODF断面である。 $\psi_2=0$ 度の断面では、 $\{011\}\langle 0\bar{1}1\rangle$ 、の集合組織が読み取れる。 $\psi_2=20$ 度では、 $\{133\}\langle 0\bar{1}1\rangle$ 、 $\psi_2=25$ 度では、 $\{122\}\langle 0\bar{1}1\rangle$ 、 $\psi_2=35$ 度では、 $\{230\}\langle 3\bar{2}0\rangle$ と $\{232\}\langle 3\bar{2}0\rangle$ と $\{232\}\langle 0\bar{2}3\rangle$ 、 $\psi_2=45$ 度では、 $\{110\}\langle 1\bar{1}0\rangle$ と $\{111\}\langle 1\bar{2}1\rangle$ 、 $\psi_2=55$ 度では $\{320\}\langle 2\bar{3}0\rangle$ と $\{322\}\langle 2\bar{3}0\rangle$ 、 $\psi_2=65$ 度では、 $\{212\}\langle \bar{2}2\bar{3}\rangle$ 。 $\psi_2=70$ 度では、 $\{312\}\langle \bar{1}\bar{1}2\rangle$ 。 $\psi_2=90$ 度の断面では、 $\{101\}\langle \bar{1}01\rangle$ である。

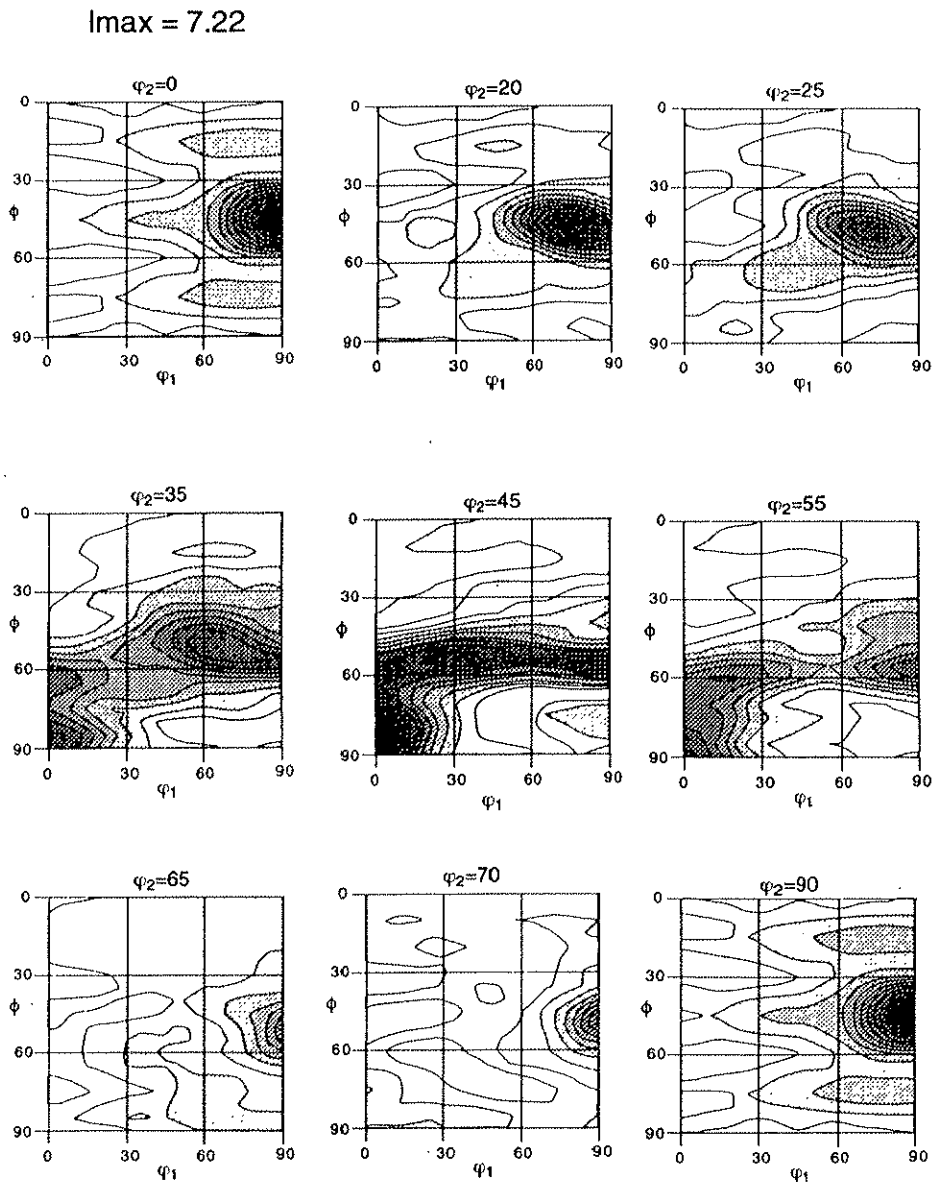


Fig.3-5 673K材のそれぞれの ψ_2 断面のODF

1073K材でも、同様の評価を行った。Fig.3-6において、強い強度が現れているのは、0度、45度、90度のみであり、強い集合組織は、 $\{110\}\langle 1\bar{1}0\rangle$ 集合組織のみである。

$I_{\max} = 21.87$

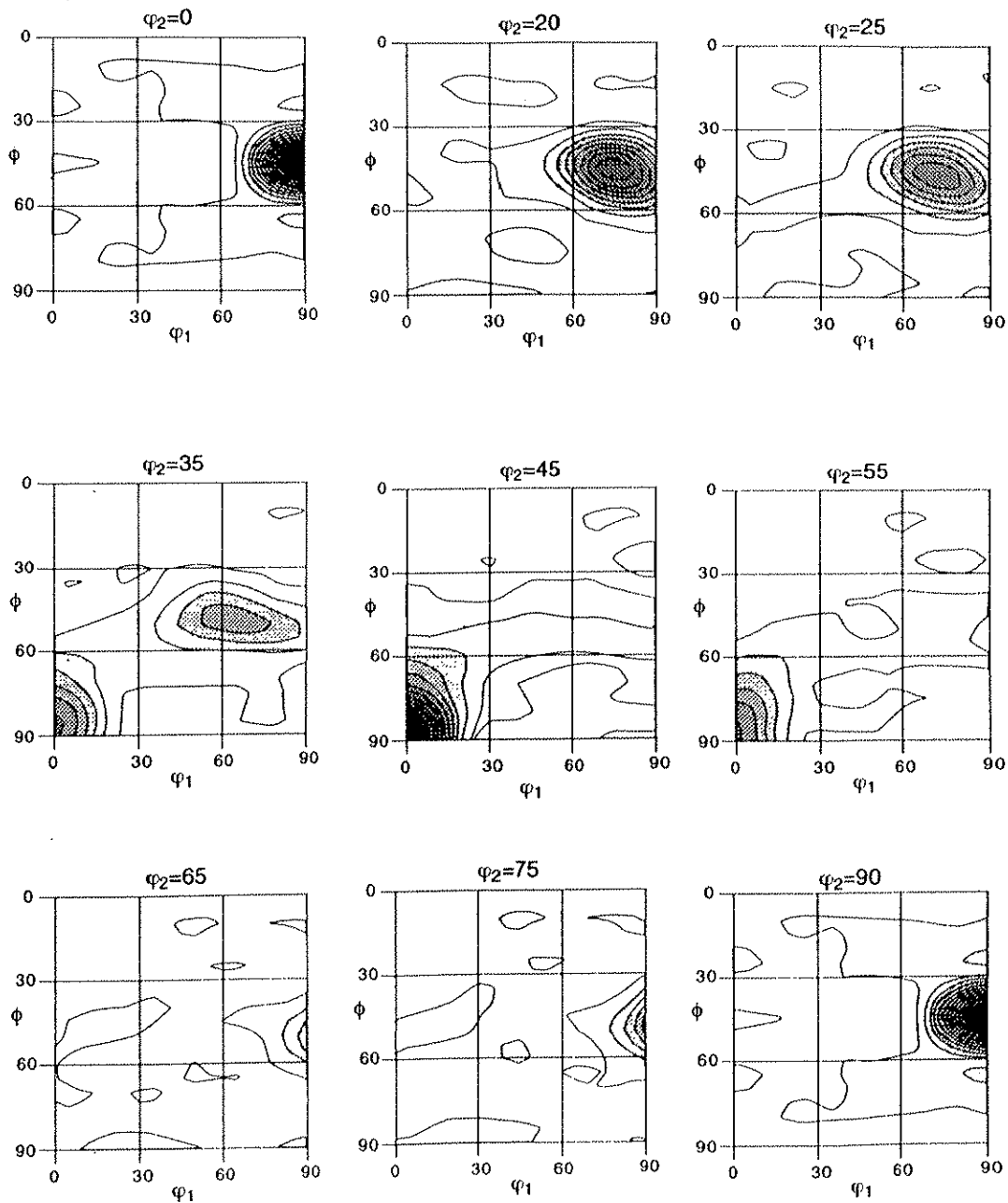


Fig.3-6 1073K材のそれぞれの ψ_2 断面のODF

今までは、6つの ψ_2 のODFを示したが、集合組織の解析には、一般に代表的な集合組織が含まれる、 $\psi_2=45$ 度のODF断面を用いる。Fig.3-7は、これらの試料に対応する ψ_2 が45度のODF断面を、各熱処理材について並べたものである。573K、673K材の加工集合組織では、 $\{110\}\langle 1\bar{1}0\rangle$ 集合組織と、加工集合組織のみで現れる $\{111\}$ ファイバーライクな集合組織が存在している。再結晶集合組織でも $\{110\}\langle 1\bar{1}0\rangle$ 集合組織は存在するが、最大強度は特に強い。しかし、 $\{111\}$ ファイバーライクのサブピークは現れていない。793K、873Kでは、 $\{110\}\langle 1\bar{1}0\rangle$ 集合組織はあまり変わらないが、973K、1073K材と熱処理温度が上がると最大強度(I_{max})は40~45に上昇する。1273材では、集合組織の最大強度は減少する。

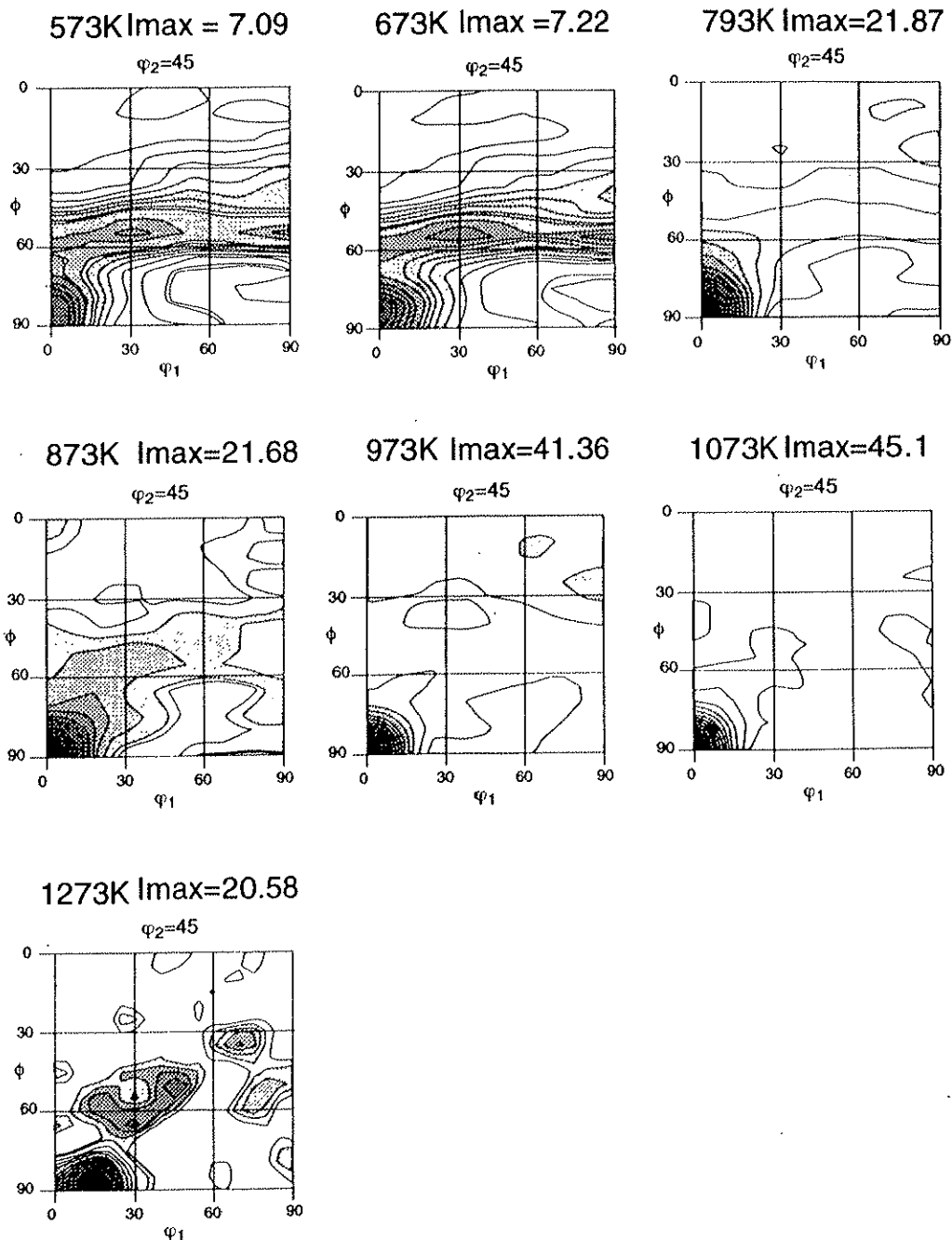


Fig.3-7 各熱処理材の $\psi_2=45$ 度断面のODF

次に、このODFの最大強度の熱処理温度依存性を評価してみようと思う。Fig.3-8は、各熱処理材の試料のODFの最大強度を表したものである。加工集合組織である、573K材、673K材では最大強度は低く、違いは少ない。しかし、再結晶集合組織となる793K材、873K材では、急激に上昇している。さらに、熱処理温度が増加すると、1073K材までは上昇しているが、1273Kで減少している。したがって、1073K材が最も強い集合組織を持つことになる。

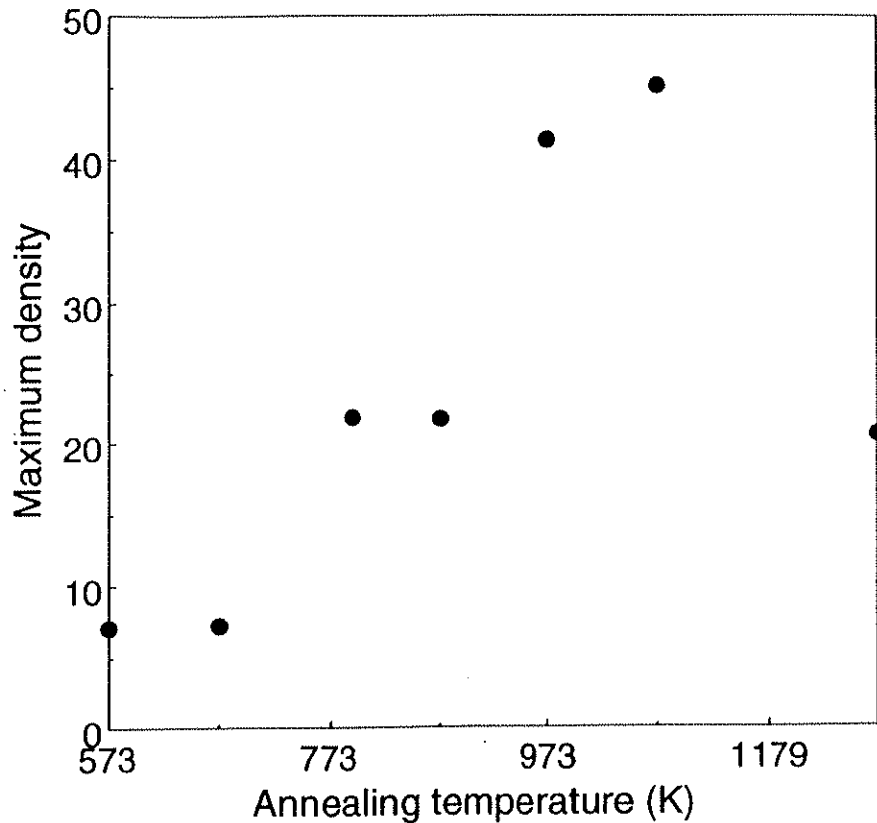


Fig.3-8 各熱処理材のODFの最大強度

○逆極点図

結晶方位分布関数ODFでの評価は、集合組織を面と方位で評価するには適しているが、変態歪みの異方性を評価するには、多結晶試料中で、引張り軸方向にどの方位の結晶粒がどのくらいあるかということが重要になる。それらの情報は逆極点図で得られるので、次にそれぞれの熱処理温度における逆極点図を示す。ここでは、試料の3次元方向を、Fig. 2-1のように α 、 β と定義して、RDからTD、NDからRDについて、それぞれの角度での逆極点図を評価した。Fig.3-9からFig.3-15が、RDからTD方向への逆極点図、Fig.3-16からFig.3-22が、NDからRD方向への逆極点図である。

まず、RD方向の逆極点図を見ていくことにする。加工集合組織の573K材、673K材では、RD方向では、 $[011]$ 軸密度ばかりでなく、 $[\bar{1}11]$ の方向にも比較的高い軸密度が広がっている。35度方向では、 $[\bar{1}11]$ 軸密度が最も高くなっているが、 $[011]$ 軸密度も比較的高い値を示している。TD方向では、 $[001]$ 軸密度が最も高いが、 $[011]$ 軸にも比較的高いピークがある。

再結晶集合組織の試料である、793K~1073K試料では、RD方向で $[011]$ 軸密度が特に高くなっている。35度方向では、 $[\bar{1}11]$ のみが高く、TD方向では、 $[001]$ 軸密度のみが高くなり、強い集合組織を反映している。1273Kでは、これらの再結晶集合組織とは異なる軸密度分布を示した。

次に、ND方向の逆極点図を見ていくことにする。加工集合組織の573K、673K材では、ND方向では、 $[\bar{1}11]$ 軸密度のみが高くなっている。35度方向では、 $[001]$ 軸密度が最も高くなっている。RD方向では、 $[011]$ 軸密度が最も高い。再結晶集合組織の793K~1073K材では、ND方向では、 $[011]$ 軸密度と $[\bar{1}11]$ 軸密度の両方が高くなっている。45度方向では、 $[001]$ 軸密度が最も高くなっている。RD方向では、 $[011]$ 軸密度が最も高い。1273K材では傾向が異なり、ND方向では、 $[011]$ 軸密度が高くなっているが、 $[\bar{1}11]$ 軸密度は、あまり高くない。45度方向では、 $[001]$ 軸密度が最も高くなっている。RD方向では、 $[\bar{1}33]$ 軸密度が最も高くなっている。したがって、逆極点図から見ても、1273K材は、再結晶集合組織の延長上にはないことがわかる。

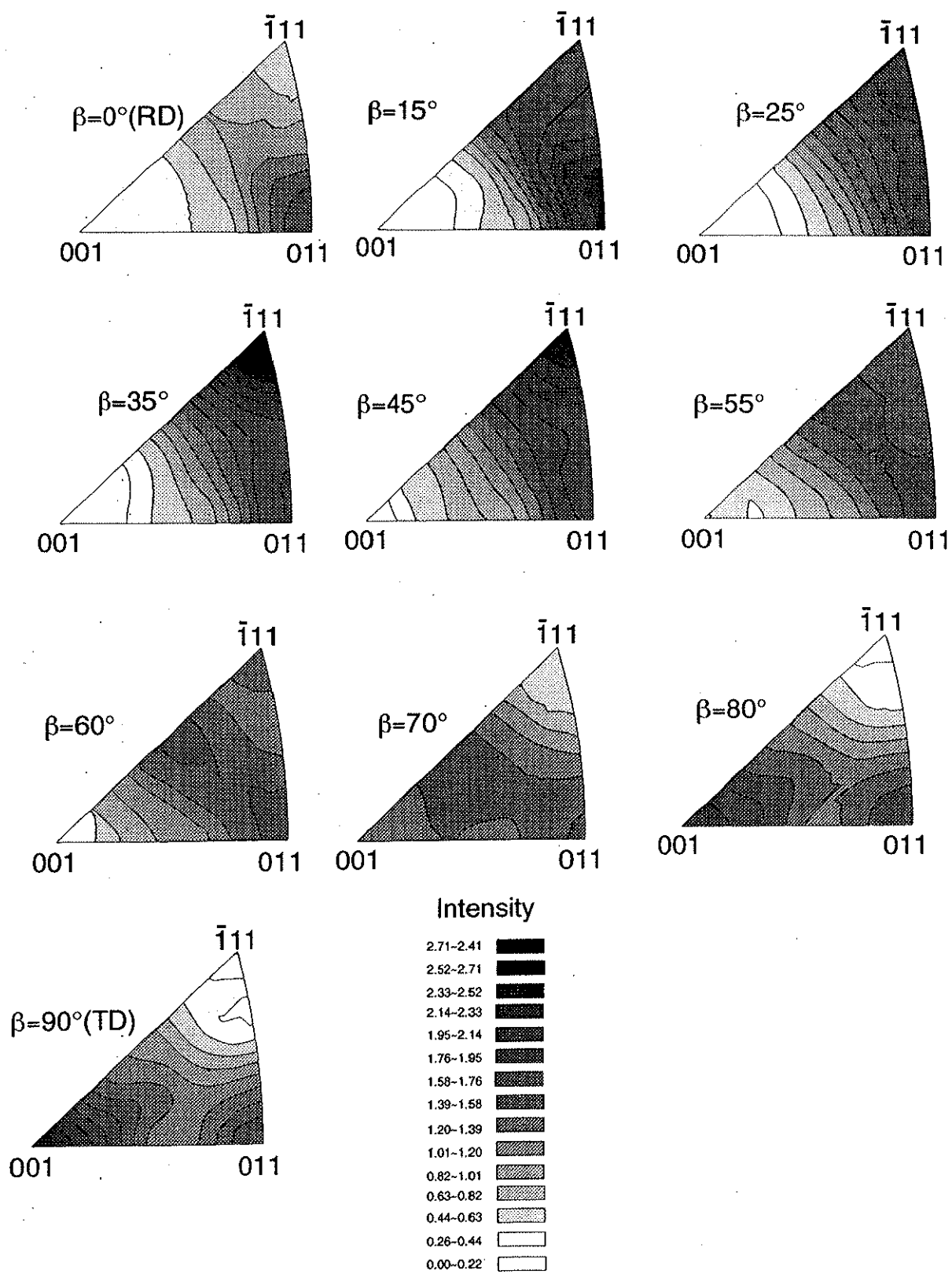


Fig.3-9 573K材の逆極点図(RD-TD)

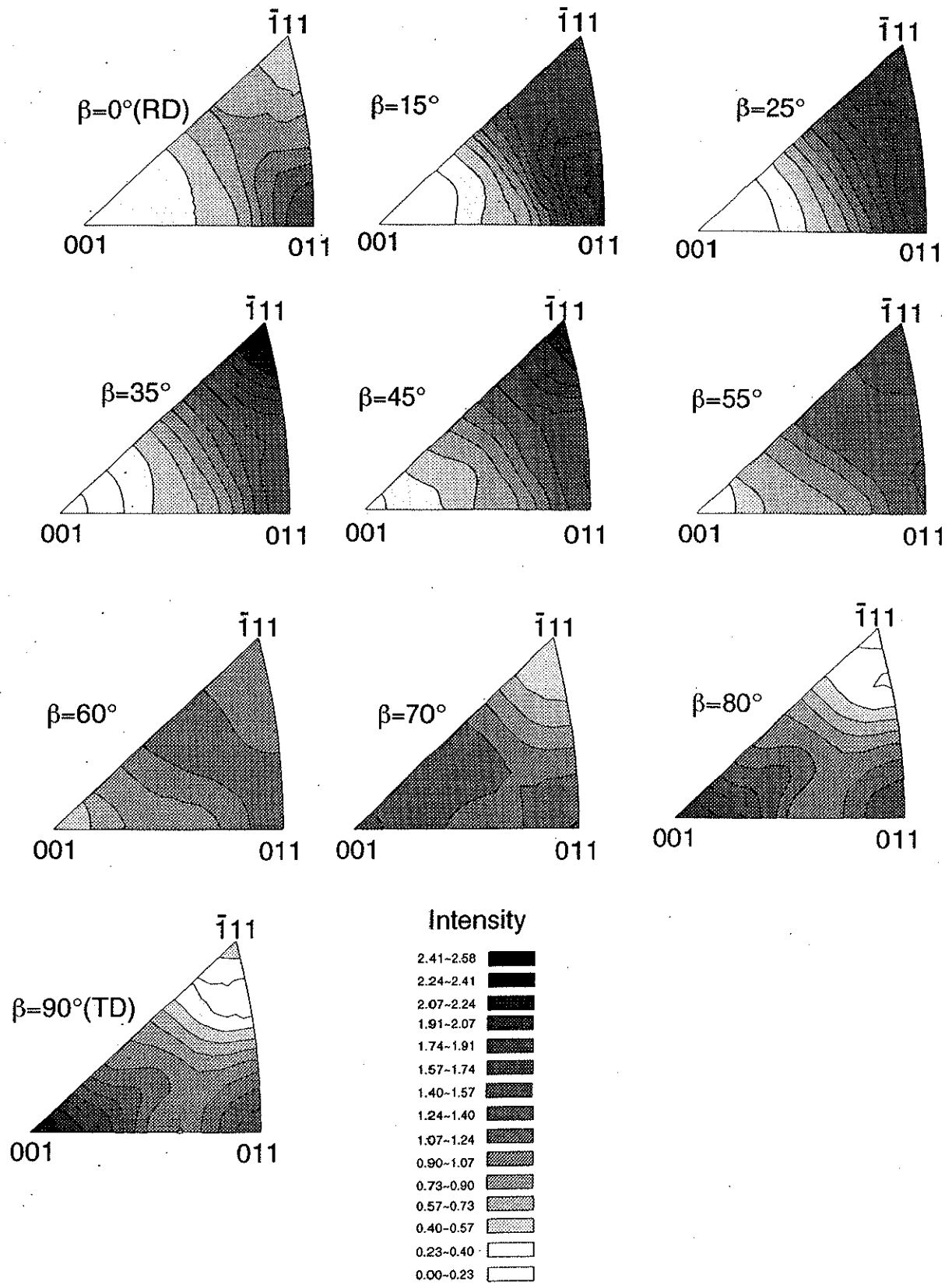


Fig.3-10 673K材の逆極点図(RD-TD)

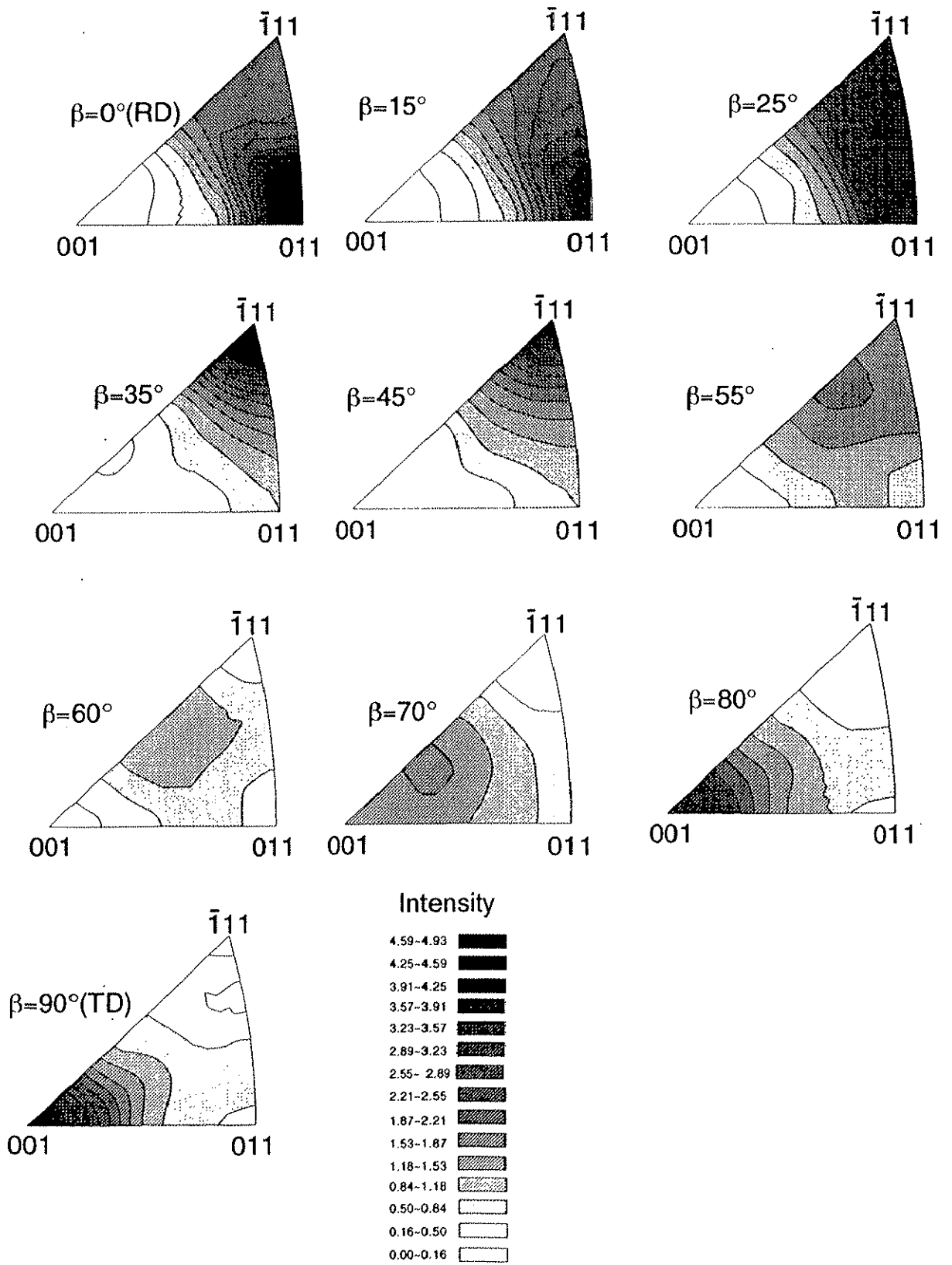


Fig.3-11 793K材の逆極点図(RD-TD)

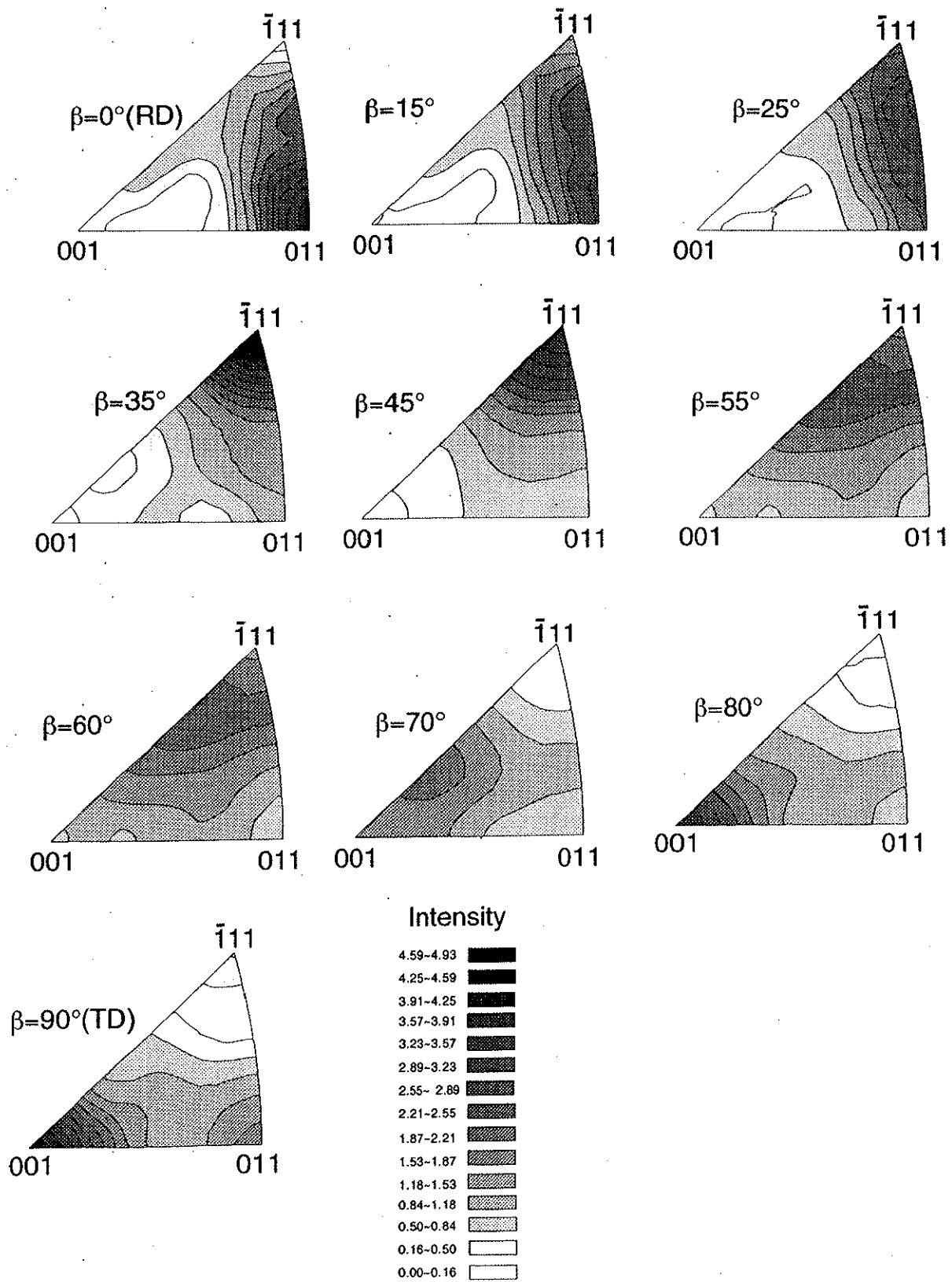


Fig.3-12 873K材の逆極点図(RD-TD)

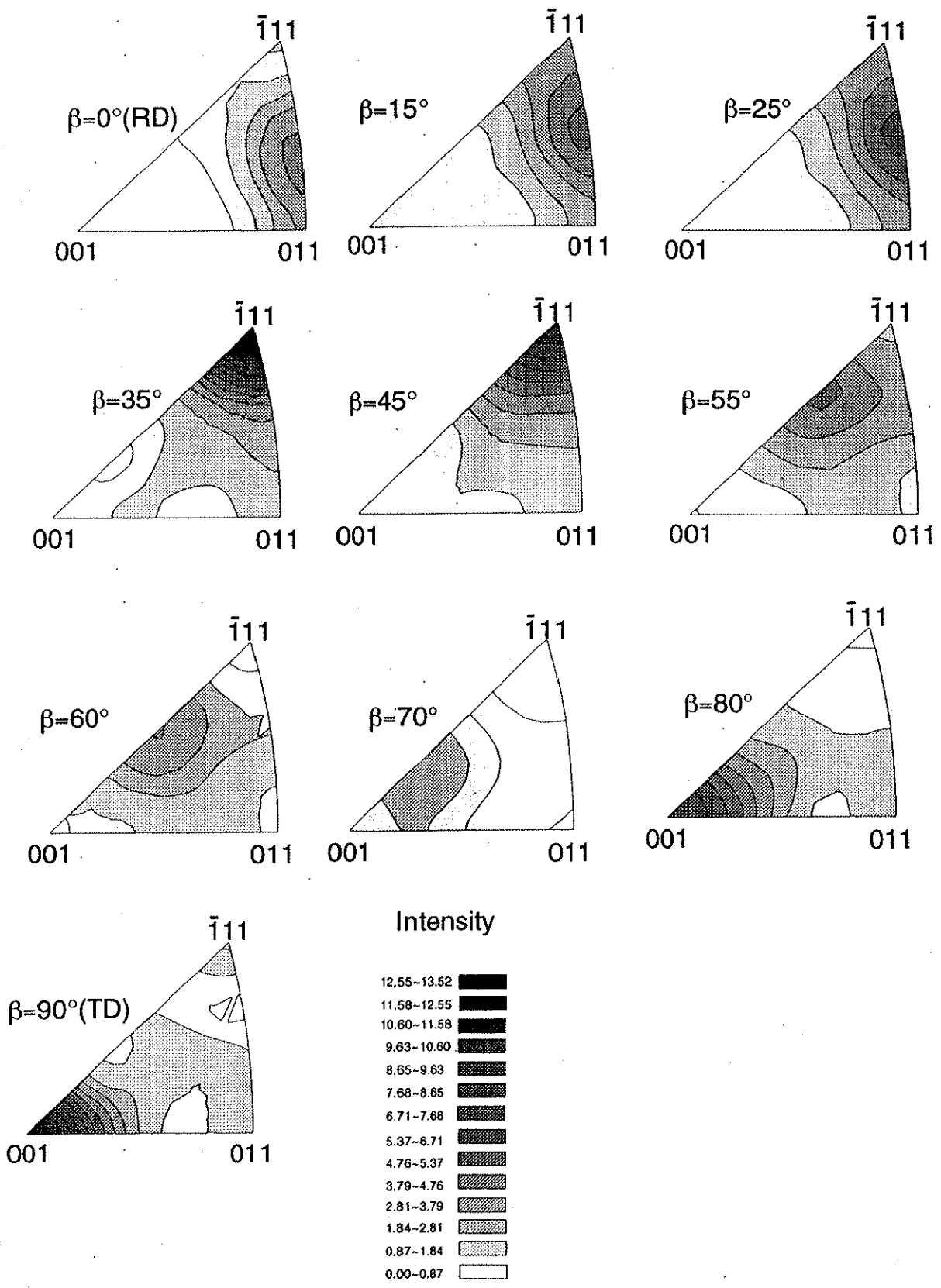


Fig.3-13 973K材の逆極点図(RD-TD)

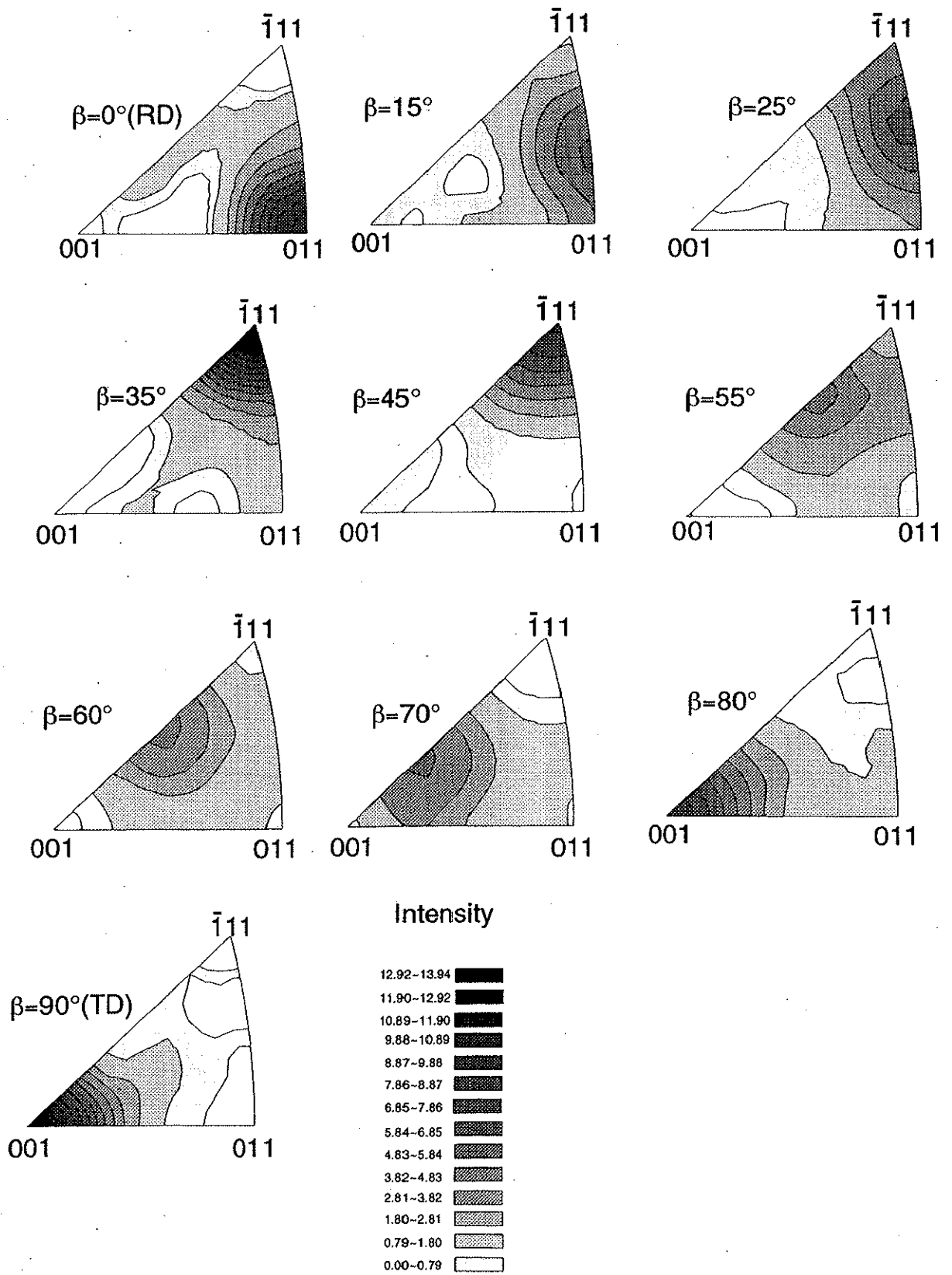


Fig.3-14 1073K材の逆極点図(RD-TD)

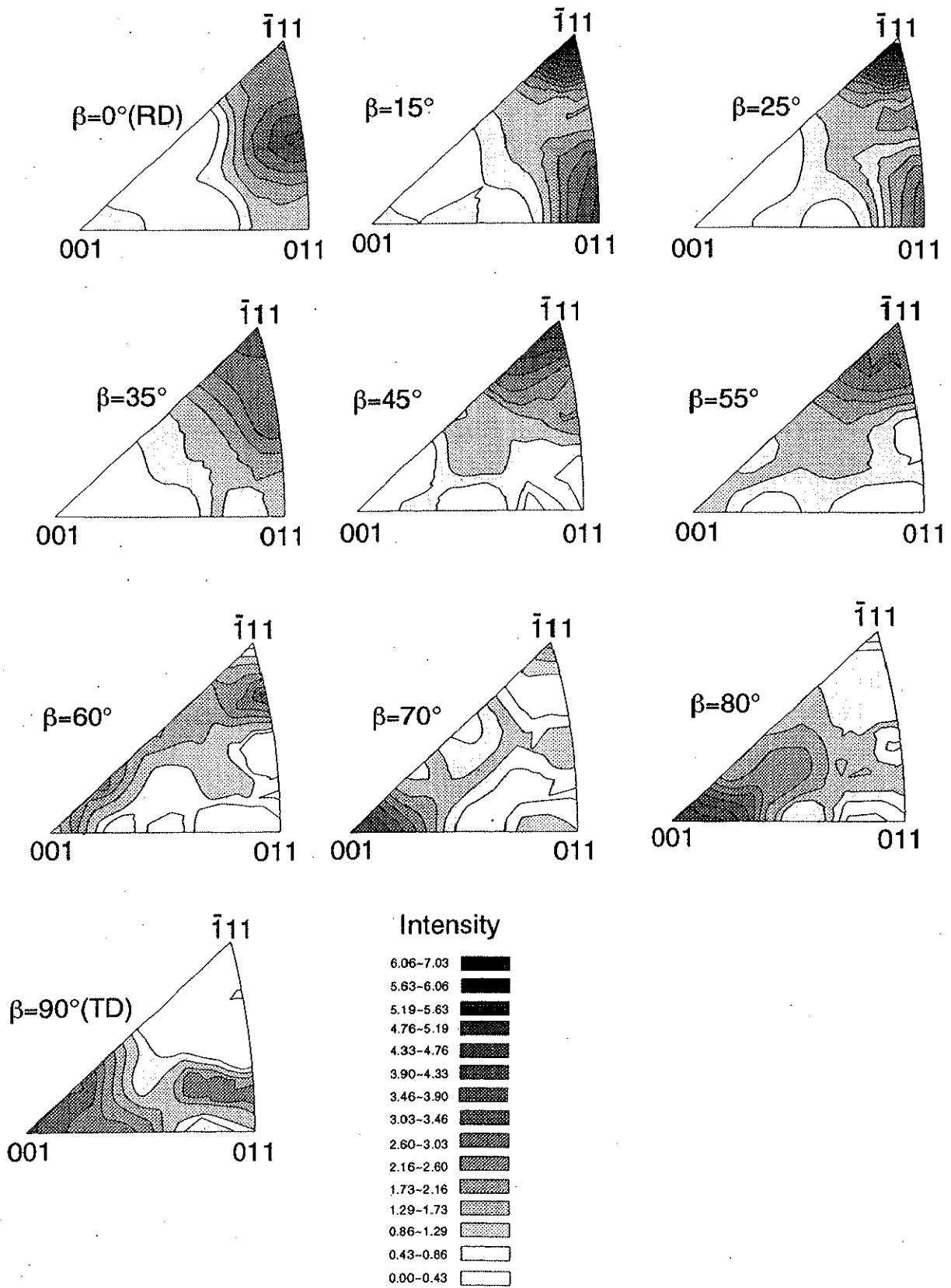


Fig.3-15 1273K材の逆極点図(RD-TD)

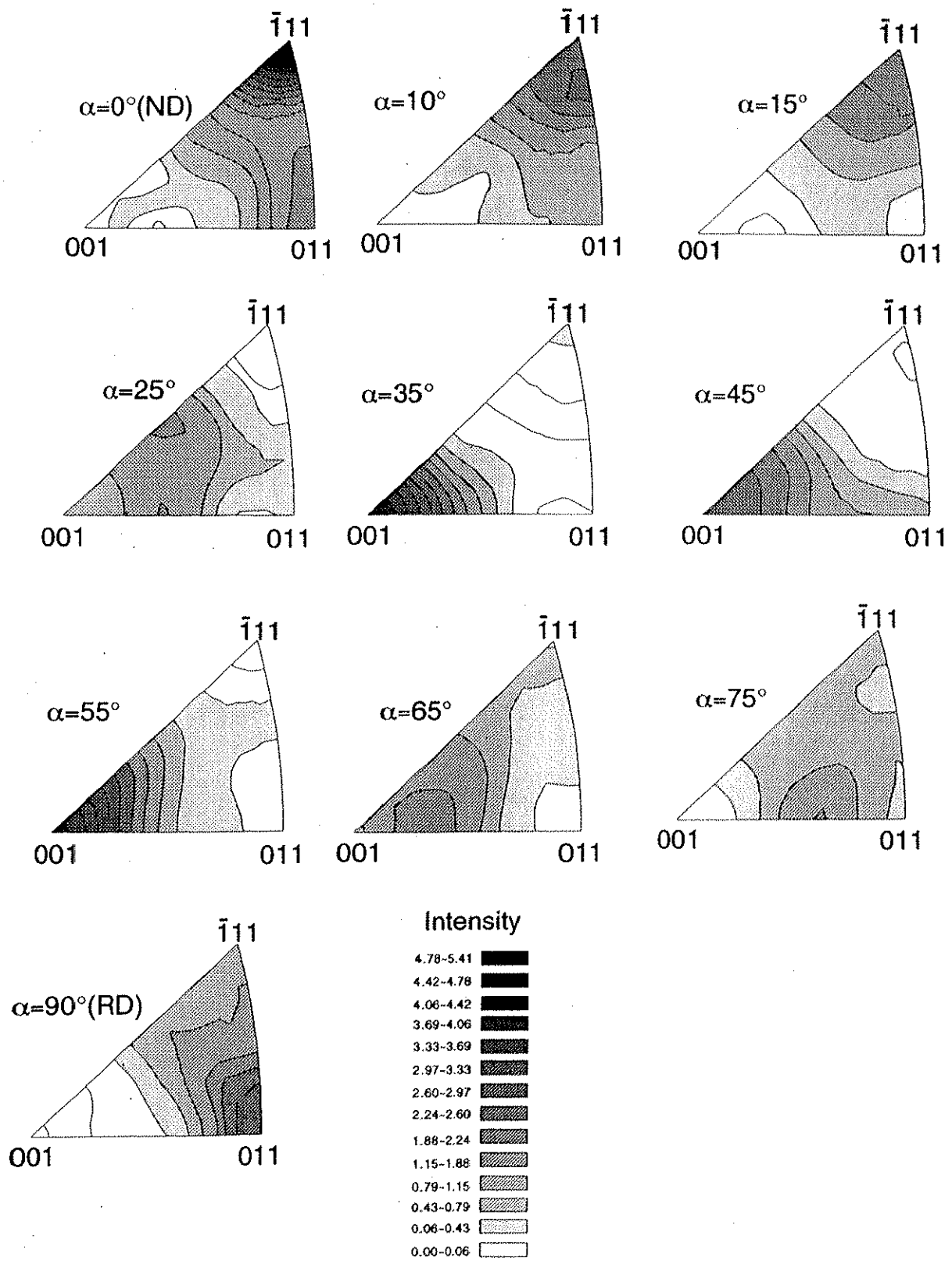


Fig.3-16 573K材の逆極点図(ND-RD)

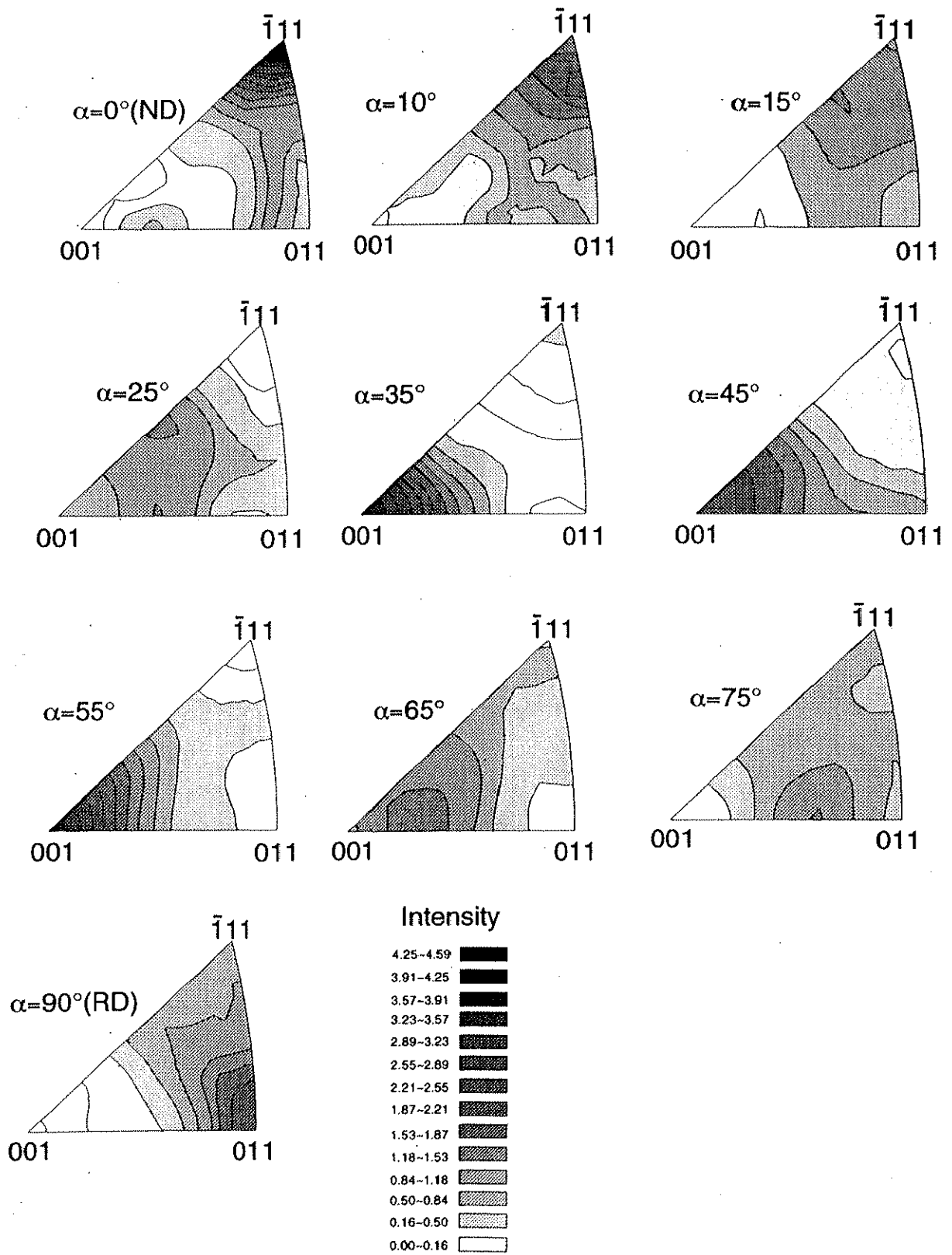


Fig.3-17 673K材の逆極点図(ND-RD)

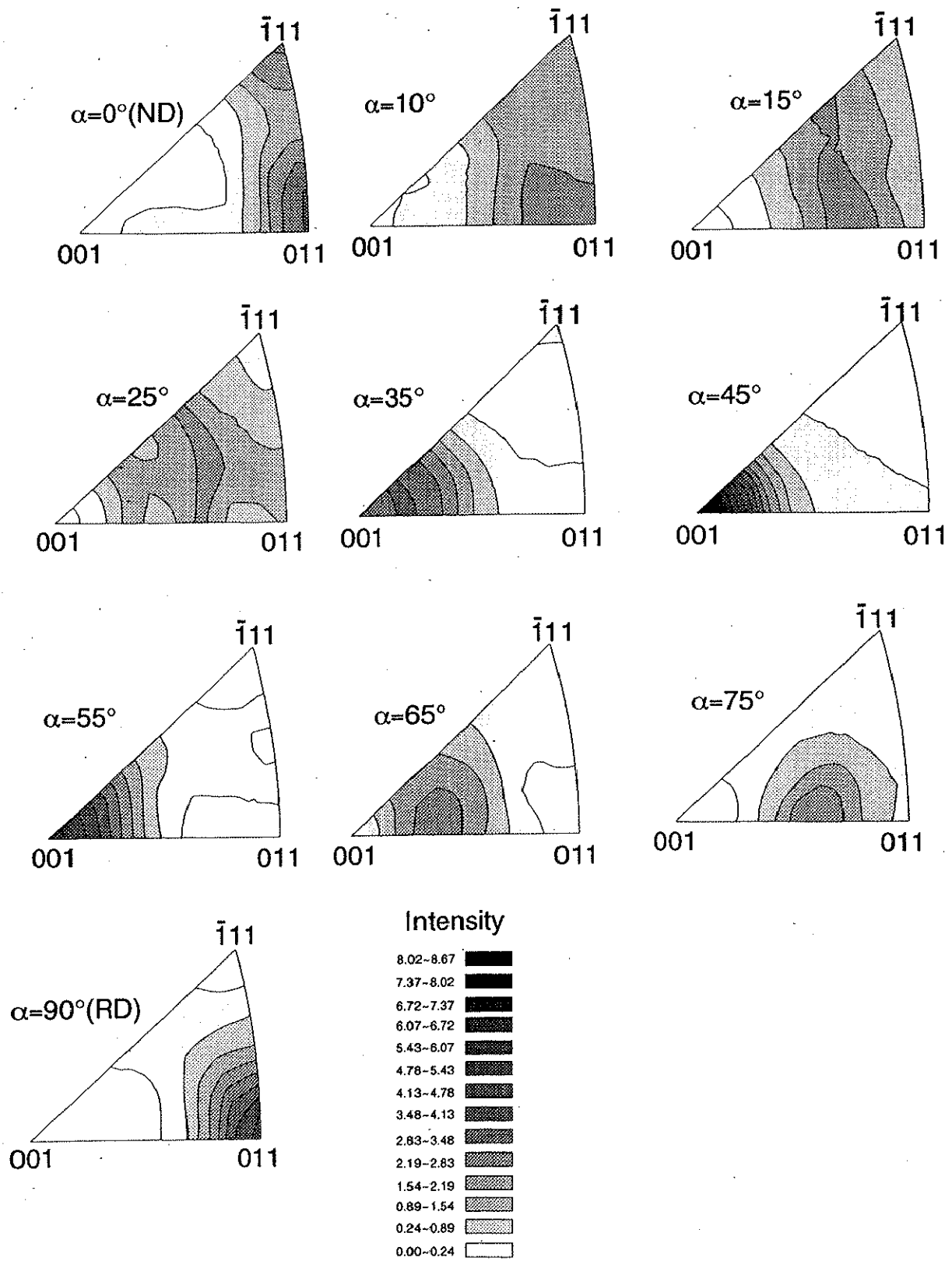


Fig.3-18 793K材の逆極点図(ND-RD)

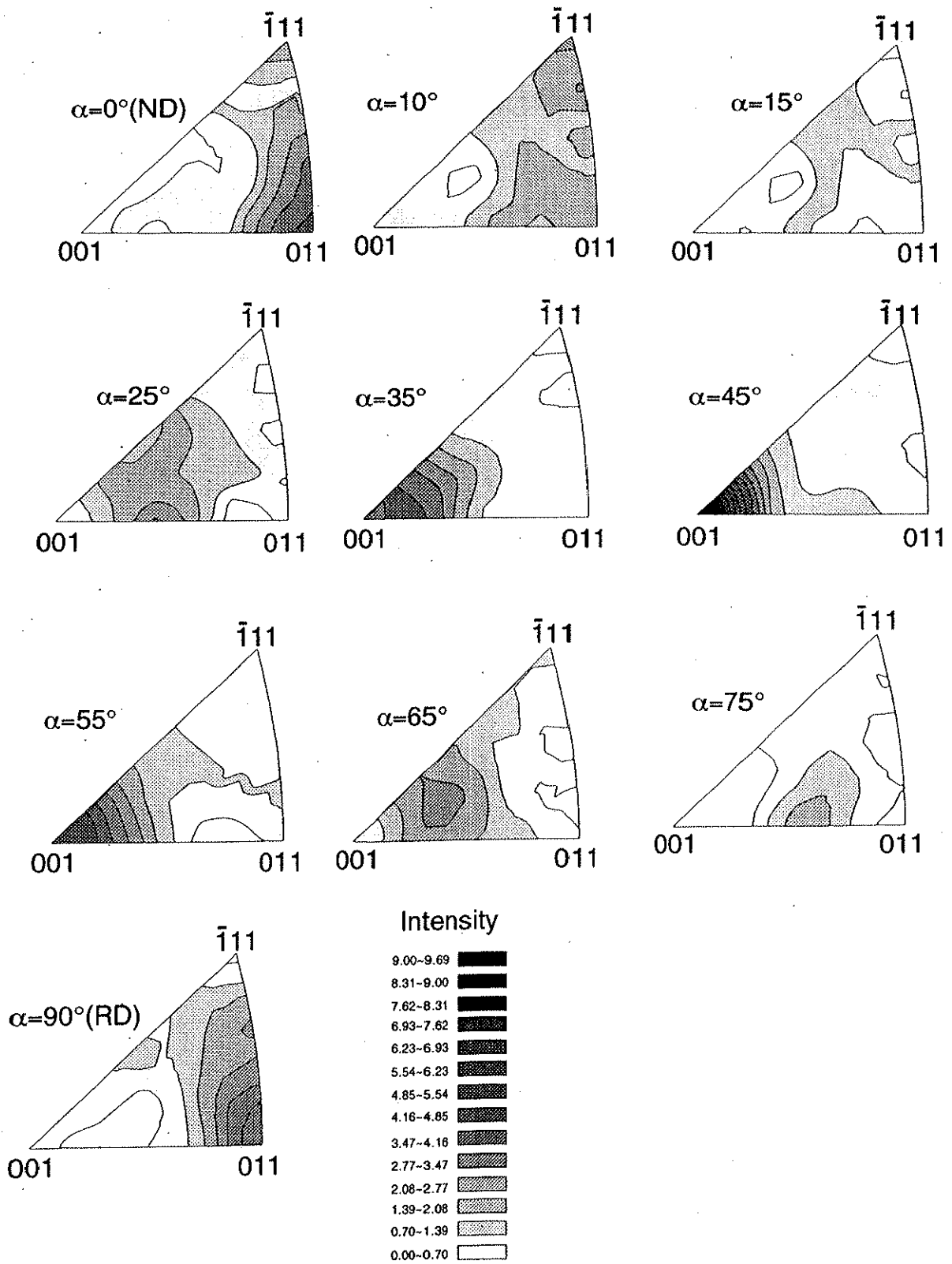


Fig.3-19 873K材の逆極点図(ND-RD)

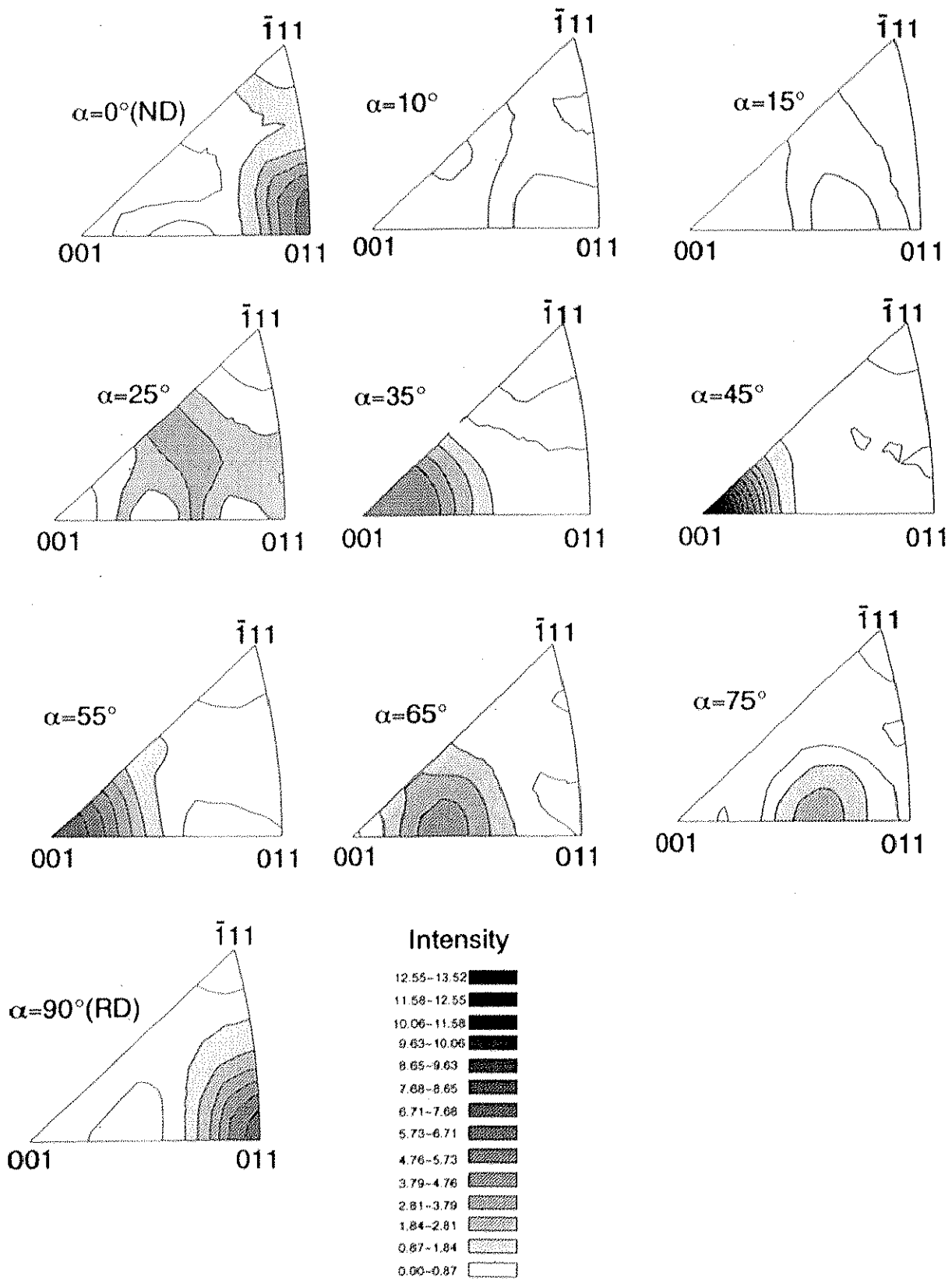


Fig.3-20 973K材の逆極点図(ND-RD)

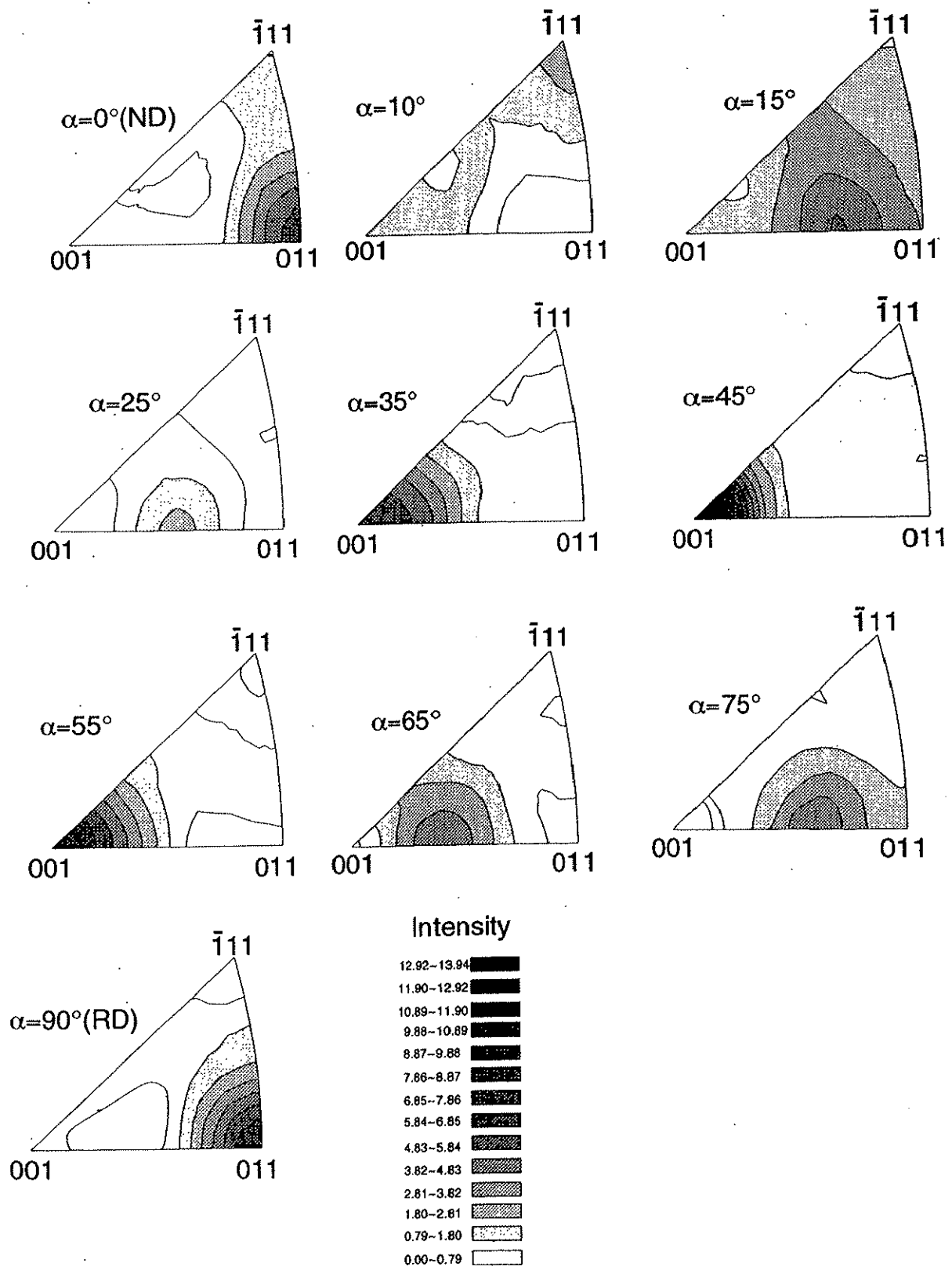


Fig.3-21 1073K材の逆極点図(ND-RD)

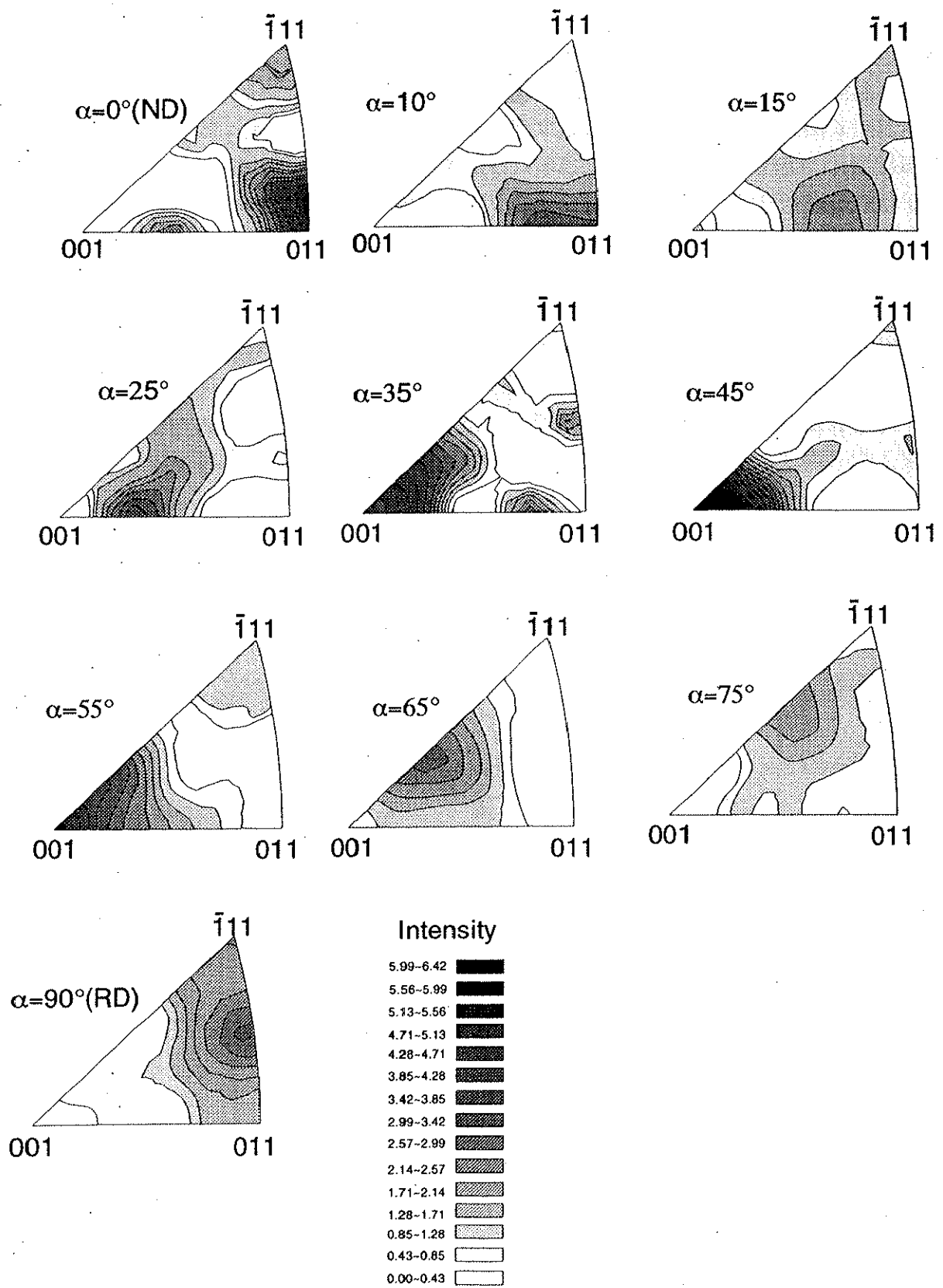


Fig.3-22 1273K材の逆極点図(ND-RD)

3-3-4 熱処理温度の違いによる変態歪みの異方性の評価

これらの集合組織の情報を基にして変態歪みを計算するためには、基本データとして単結晶における変態歪みの方位依存性の情報が必要になる。Fig.1-14 (b)は、単結晶を引張り変形したときに、優先方位バリエーションが成長すると仮定したときの各軸方位に現れるマルテンサイト変態に伴い発生する最大歪みを示している。マルテンサイト変態に関しては、 $[355]$ 方位で最大の変態歪みが発生することが解る。また、 $[001]$ 方向に進むにつれて減少していることが解る。また、 $[355][\bar{1}11][011][001]$ 等の主要方位の軸密度の変化が、多結晶試料中での変態歪みの異方性に影響を及ぼしている。

逆極点図から求まる軸密度分布と、単結晶試料を引張り変形したときに優先方位バリエーションが成長すると仮定したときに現れる最大歪みの方位依存性を組み合わせることで、2-3-5で述べているように、多結晶試料の最大回復歪みを計算により求めることができる。この方法を用いて、各熱処理の試料について変態歪みの切り出し角度依存性を求めたものが、Fig.3-23になる。

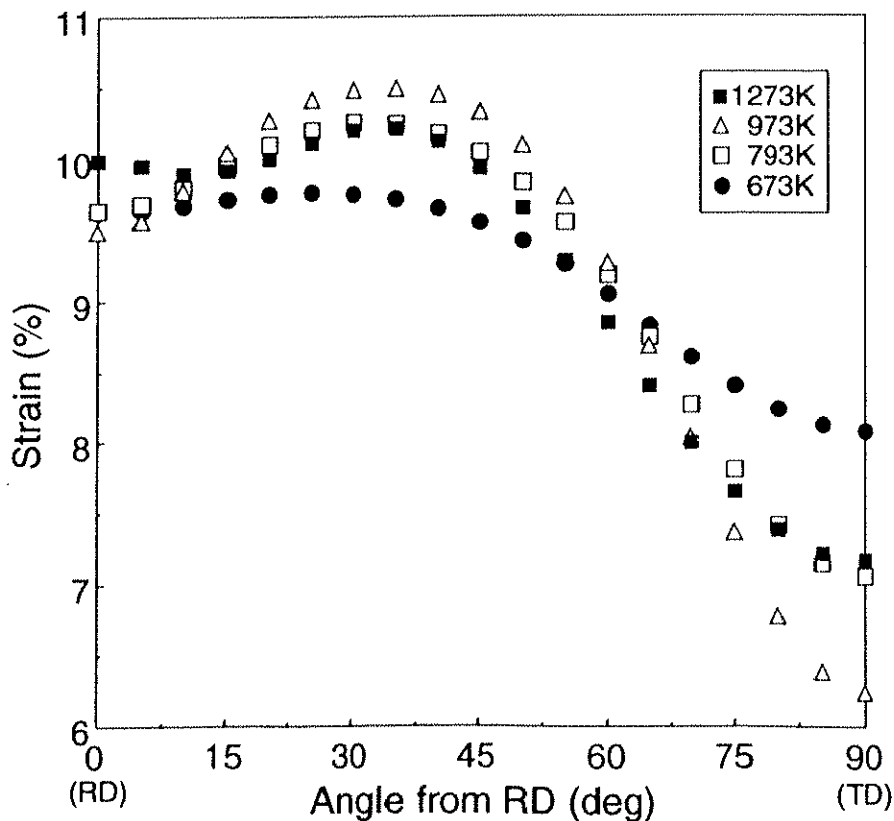


Fig.3-23 各熱処理材における変態歪みの切り出し角度依存性の計算値

加工集合組織である673K材では、変態歪みの変化は小さい。この理由は、先ほどのTD方向の逆極点図で、[001]軸密度以外に[011]軸密度も高いことが原因になっていると考えられる。

再結晶集合組織の試料では、熱処理温度の増加に伴い、30度付近の歪みが増加してピークを示し、TD方向で歪みが低下する。その結果、変態歪みの異方性は増加することがわかる。1273K材では粒成長が著しく進むため、集合組織も特殊になり、これらの再結晶集合組織の変化の延長線上にはなく、TD方向の歪みは上昇する。

次に変態歪みの異方性を考えてみたいと思う。ここで、異方性を回復歪み(ϵ_A)の最大値と最小値の差で表したのがFig.3-24、歪みの最大値と最小値の差を最大値で割ったもので表したのがFig.3-25である。いずれの評価方法でも、加工集合組織の状態にある573K、673Kでは、異方性は小さいが、再結晶集合組織の試料では、熱処理温度が上がるにしたがって異方性は大きくなる。しかし、1273Kでは異方性は減少する。

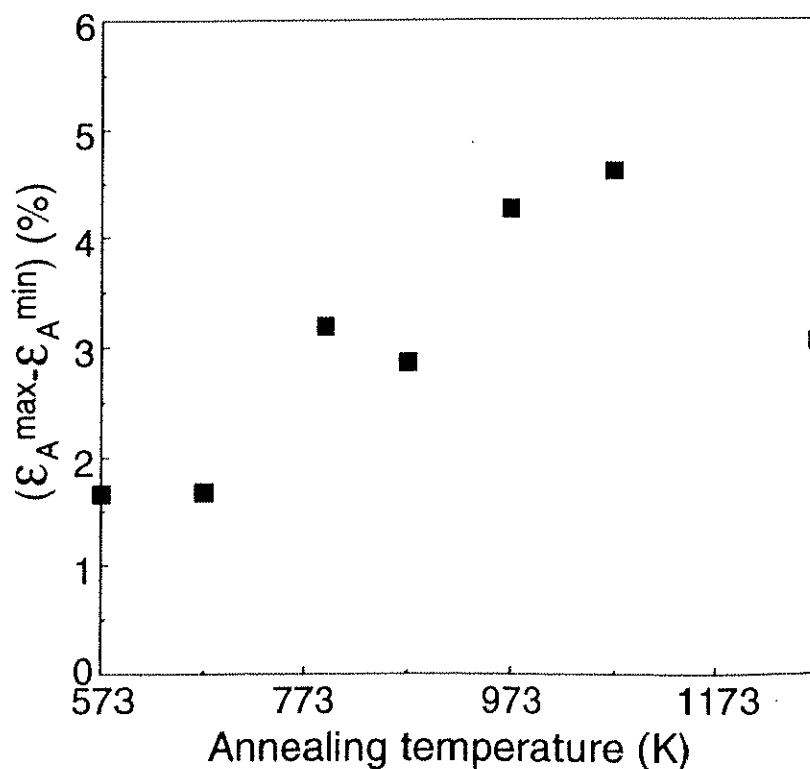


Fig.3-24 各熱処理材における変態歪みの異方性

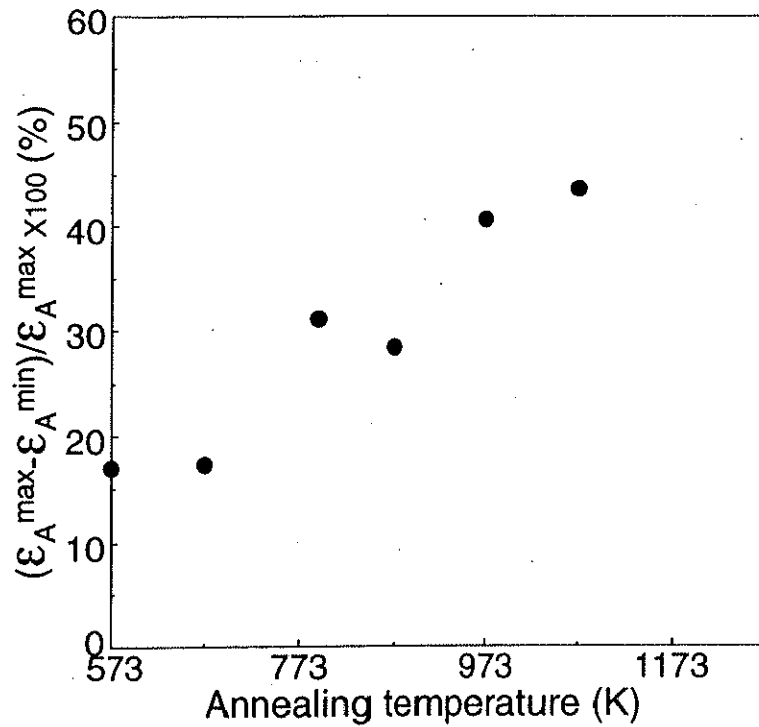


Fig.3-25 各熱処理材における変態歪みの異方性

3-3-5 熱処理温度の違いによる形状記憶特性の評価

次に、集合組織の情報を基に変態歪みの異方性を評価し、実験的にも変態歪みを評価するために、673K,1073K,1273Kの3種類の熱処理材について、一定荷重下の熱サイクル試験を行った。Fig.3-26は、673K材についての歪み-温度曲線である。応力が増加するに従って、変態歪みが増加すると共に、変態温度が上昇していることが解る。また、変態歪みはもちろん、変態温度や変態温度ヒステリシスも切り出し角度により異なった。Fig.3-27は、1073K材の歪み-温度曲線を示している。673K材と比較して、異方性が大きいことがわかる。Fig.3-28は、1273K材の歪み-温度曲線を示している。1073K材の場合よりも低い応力で、大きな変態歪みの異方性が現れる。次に、実験的に求めた変態歪みが、集合組織の情報を基にして計算した変態歪みと、どのくらい一致するかを評価する。Fig.3-29~31は、変態歪みの計算値と実験値を比較したものである。それぞれの熱処理材について、それぞれの上の図は、各熱処理材の試料について計算により求めた変態歪みと、各応力で実験的に求めた変態歪みの切り出し角度依存性を示したものである。また、それぞれの熱処理材について、下の図は、各応力で、変態歪みの最大値と最小値の差を示している。

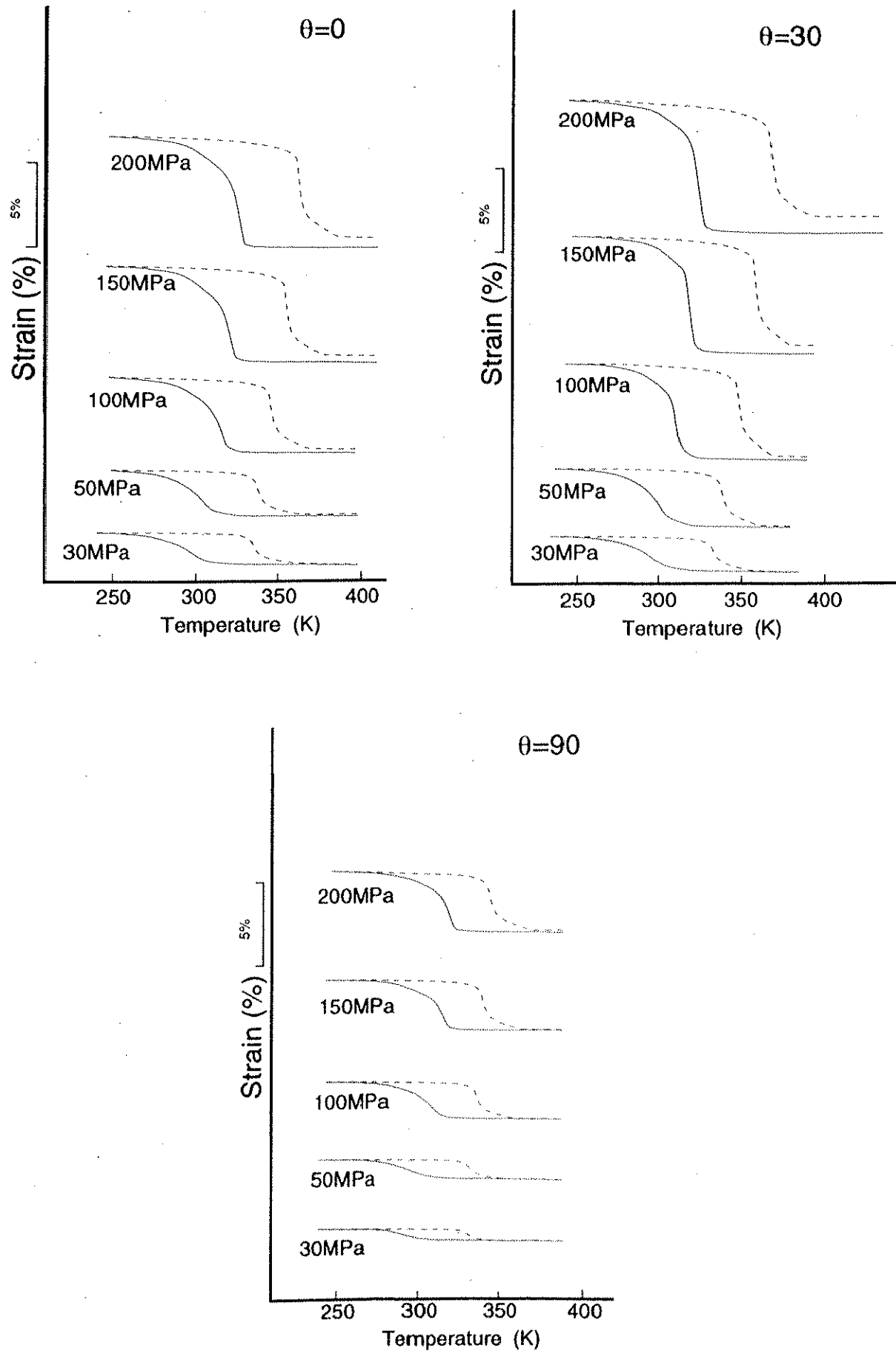


Fig.3-26 673K材の歪み-温度曲線

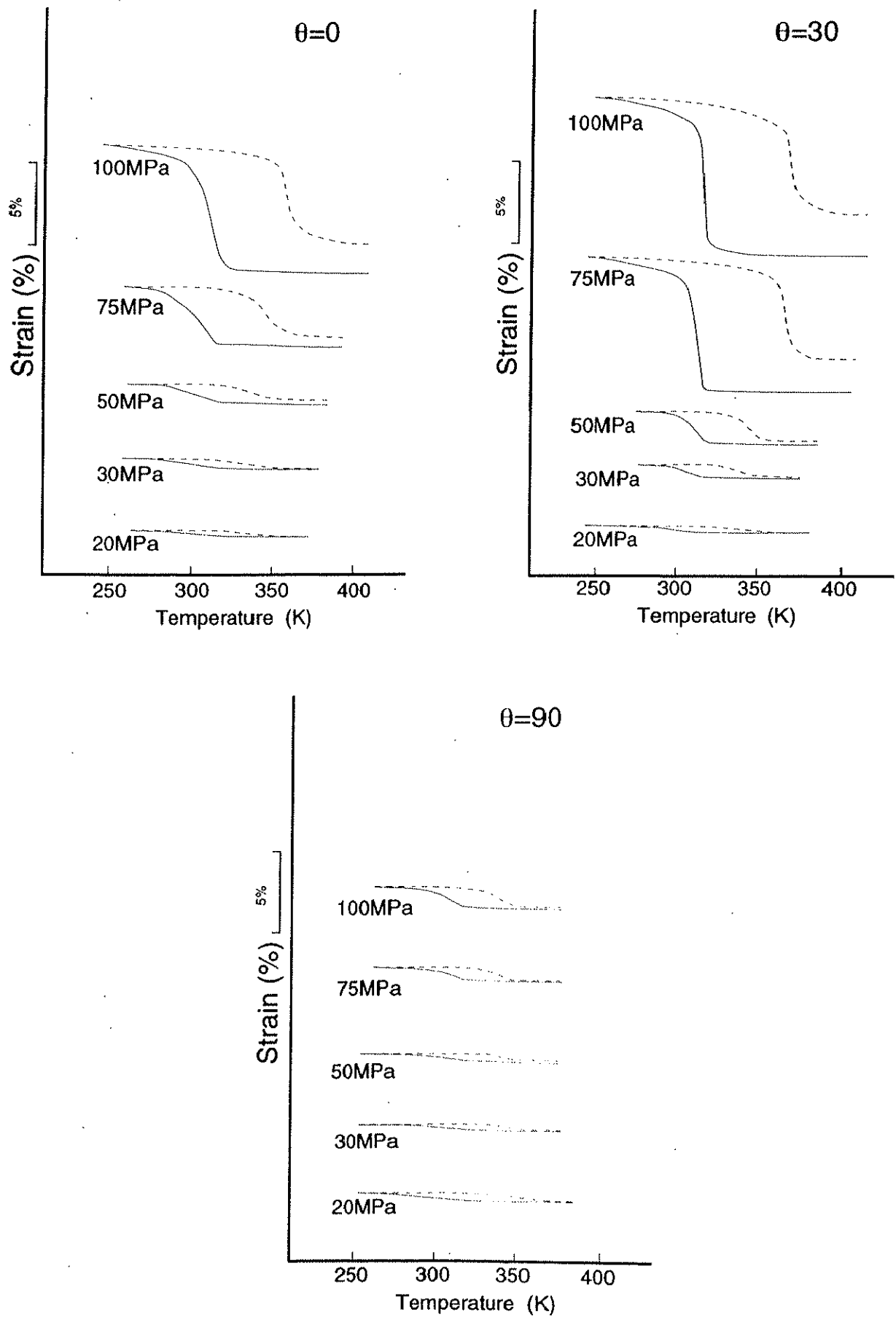


Fig.3-27 1073K材の歪み-温度曲線

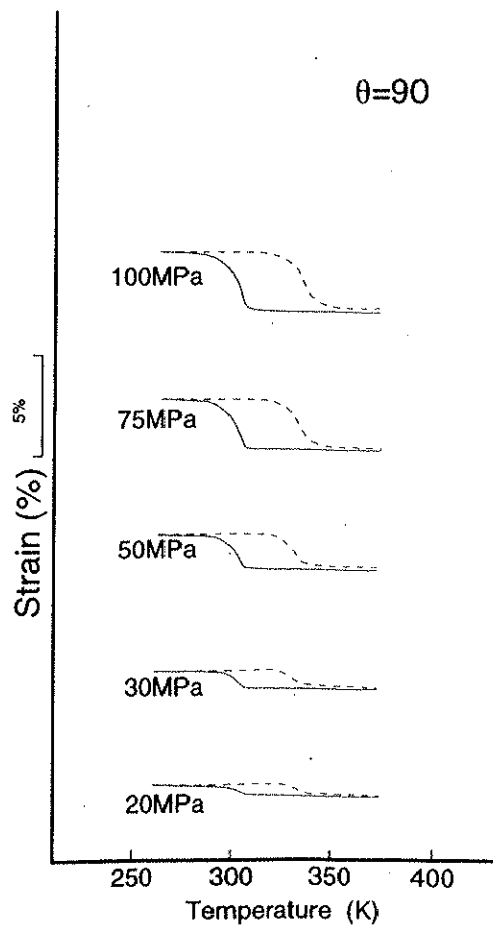
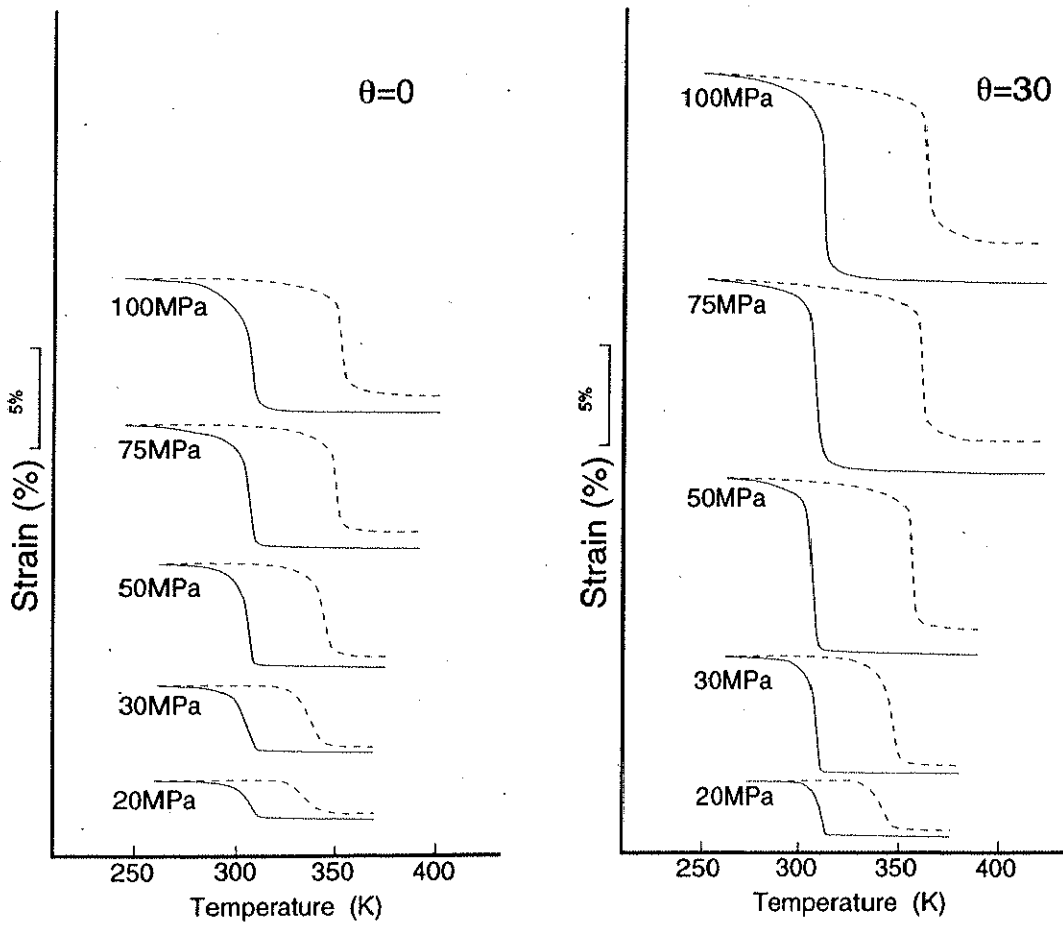


Fig.3-28 1273K材の歪み-温度曲線

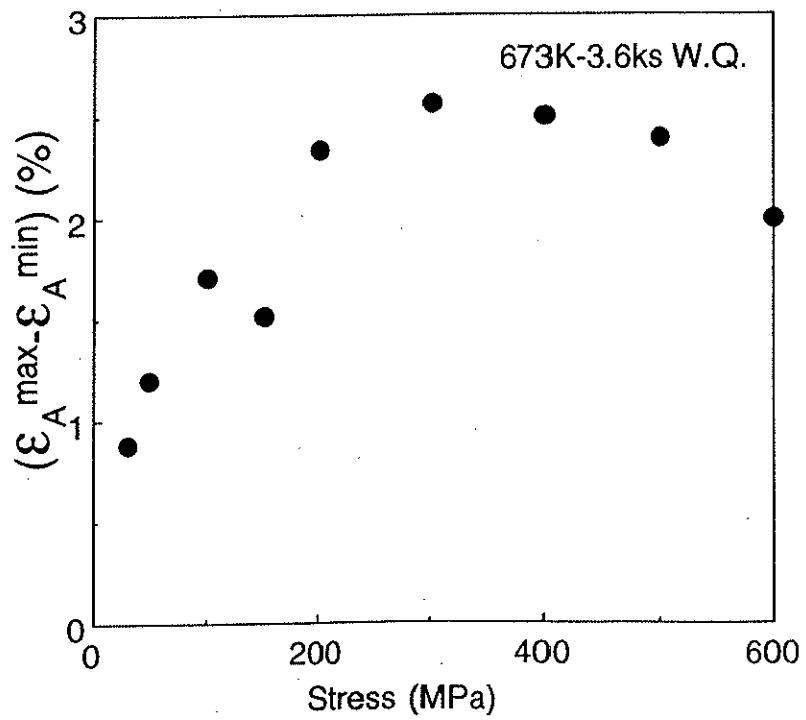
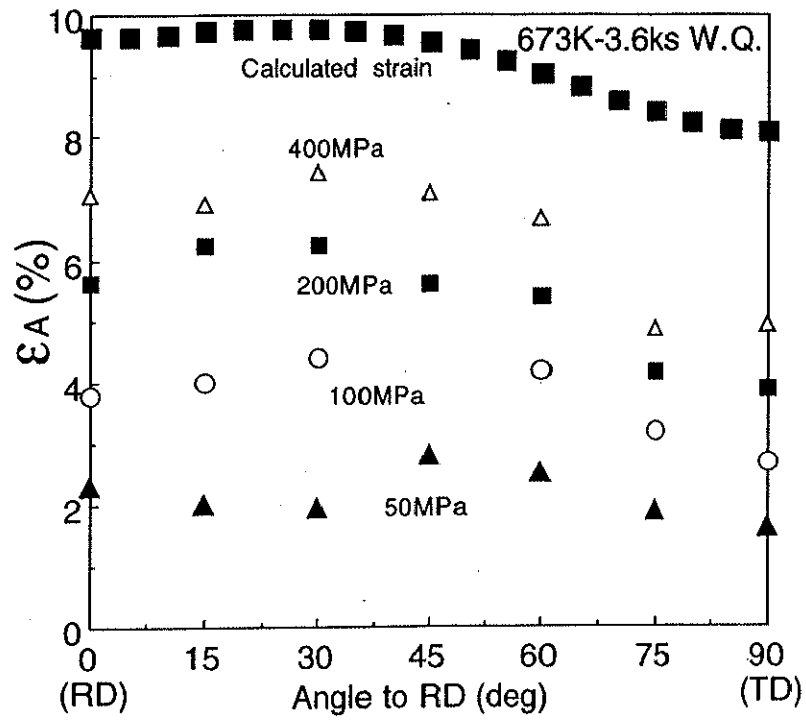


Fig.3-29 673K材の変態歪みの実験値と計算値の比較と変態歪みの異方性

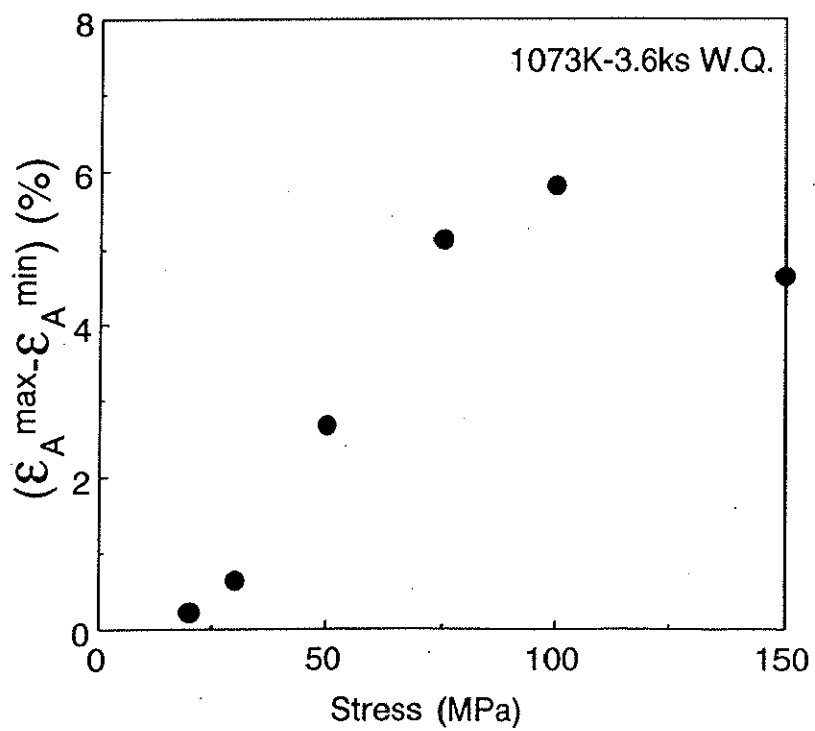
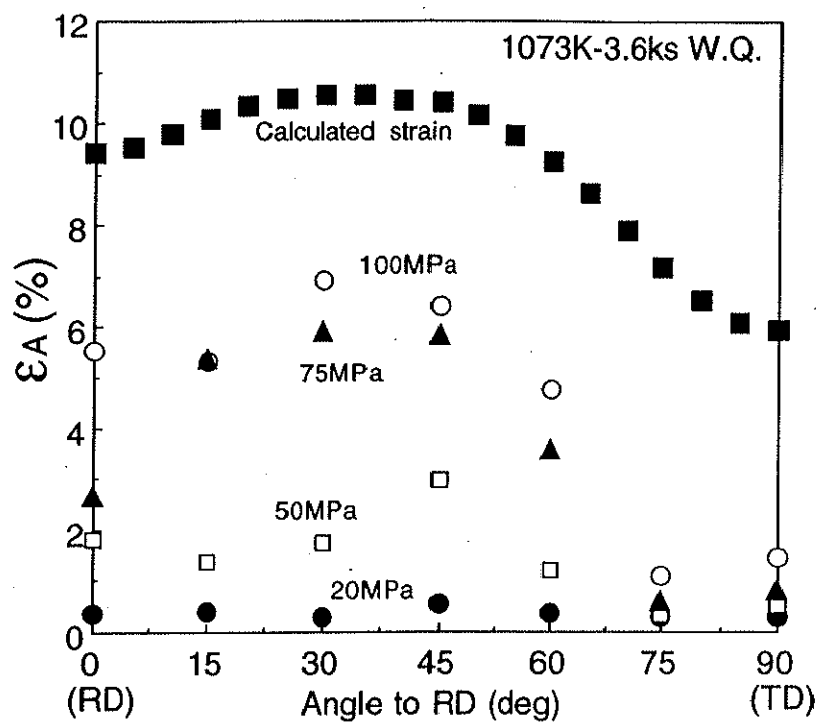


Fig.3-30 1073K材の変態歪みの実験値と計算値の比較と変態歪みの異方性

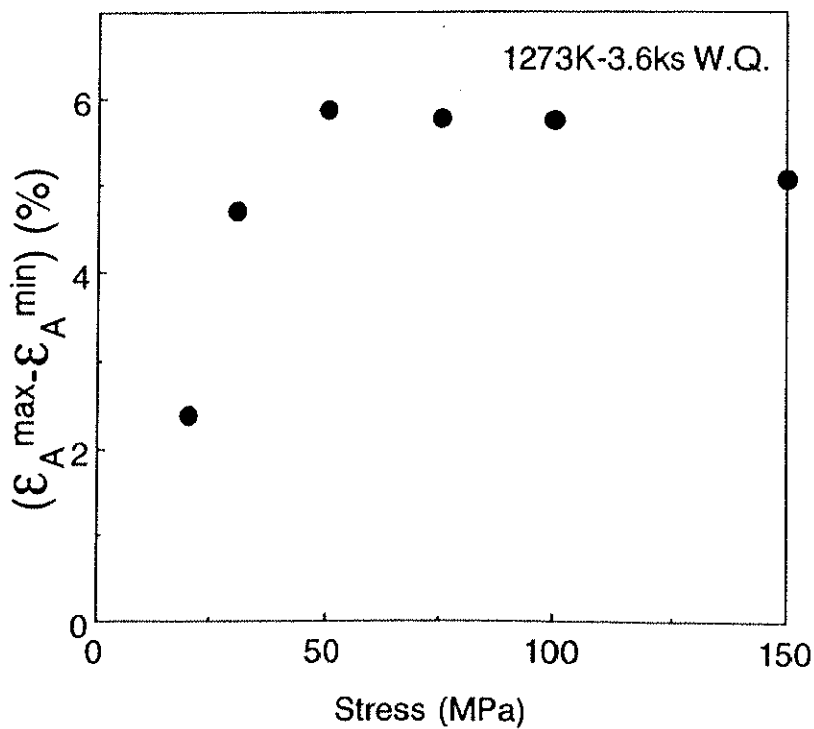
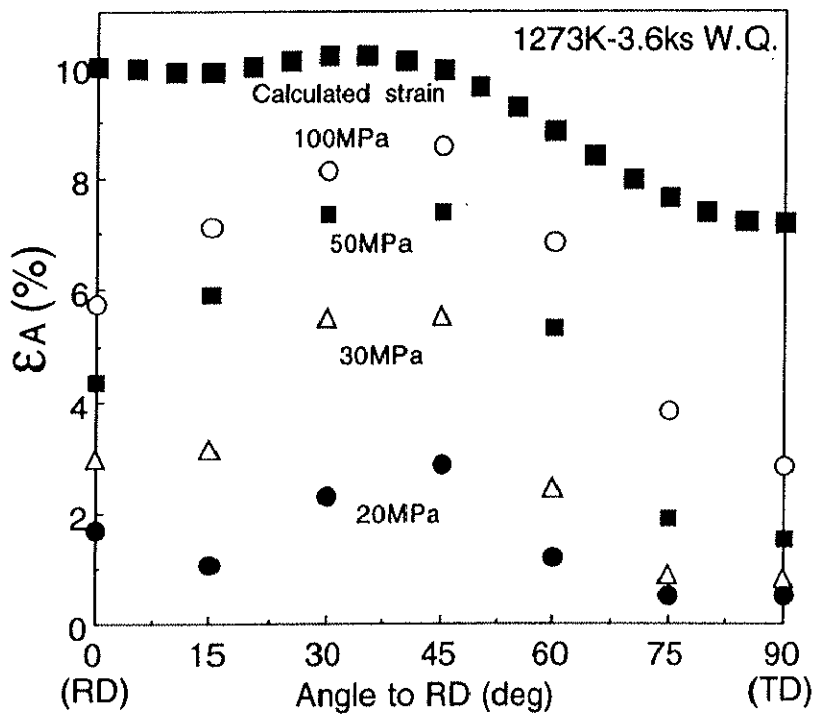


Fig.3-31 1273K材の変態歪みの実験値と計算値の比較と変態歪みの異方性

加工集合組織の試料である673K材では、400MPaという高い応力を加えても、変態歪みの異方性は2.5%前後と小さい値を示している。一方、再結晶集合組織を持つ、1073K、1273K材では、変態歪みの異方性は、5%以上と大きい値を示す。また、計算値から、1073K材では、30度付近で極大値を取り、実験結果でも、切り出し角度30度で最大回復歪みを示している。また1273K材では、極大値を取る角度が右にシフトしている。それに対応して、実験結果でも、切り出し角度45度の回復歪みの方が、30度より大きくなっている。以上の結果から、集合組織の情報を反映して、変態歪みは、いずれの試料でも定性的に同様の切り出し角度依存性を示していることが解る。それぞれの下の図は、各応力で実験的に求めた変態歪みの異方性を示している。Fig.3-29で示される加工集合組織の試料では、異方性は最大でも2.5%だが、Fig.3-30,31で示される再結晶集合組織の試料では、1073K材、1273K材共に、約6%もの大きな異方性が現れている。これは、計算から求めた異方性より大きい値である。さらに、同じ再結晶集合組織の試料でも、1273K材では、低い応力で大きな異方性が現れている。この事は、1273K材では、1073K材に比べて、低い応力でバリエーションが優先方位に向くことが原因だと考えられる。

3-4 結論

最終冷間圧延率が40%のTi-50.18at%Ni合金薄板を作成し、熱処理温度を573K~1273Kの間で変化させた時の集合組織と変態歪みの異方性に及ぼす熱処理温度の効果を調べ、以下のような結果を得た。

- (1) 正極点図とODFから読み取れるように、加工集合組織状態にある試料では、 $\{110\}\langle 1\bar{1}0\rangle$ 集合組織と、 $\{111\}$ ファイバーライクな集合組織が存在していたが、再結晶集合組織の状態にある試料では、 $\{110\}\langle 1\bar{1}0\rangle$ 集合組織のみが存在していた。しかし、1273Kでは、 $\{110\}\langle 3\bar{3}1\rangle$ 集合組織が存在した。
- (2) 変態歪みの異方性に及ぼす熱処理温度の影響は、573K、673Kの加工集合組織を持つ試料では小さいが、再結晶集合組織を持つ試料の場合は、熱処理温度が増加するにつれて、異方性は増加した。しかし、特定の結晶粒のみが著しく成長した1273K材では、異方性は減少した。

3-5 参考文献

- 1) J.H. Mulder, P.E. Thoma and J.Beyer, *Z. Metallkd.*, 84, 1993, p.501.
- 2) H.Inoue, N. Miwa and N. Inakazu, *Acta mater.* 44, 1996, p.4825.
- 3) S.Miyazaki, K.Kitamura, K. Nomura, F.Dong and H. Tobushi, *Smart Materials Technologies*, SPIE Vol.2716, (1996), SPIE Proc. Series Vol.2716 (1996) p.95.
- 4) K.Kitamura, S.Miyazaki and M.Kohl, "Anisotropy of Shape Memory Behavior of Rolled Ti-Ni Thin Plates", *Proc. of Inter. Conf. on New Actuators*, Bremen , Germany (1996) p.401.
- 5) K.Kitamura, S.Miyazaki, H.Iwai and M.Kohl, "Effect of Heat-Treatment on the Texture in Rolled Ti-Ni Thin Plates", *Proc. of Inter. Conf. on Shape Memory and Superelastic Technologies*, Asilomar, U.S.A. (1997) p.47.
- 6) K.Kitamura, S.Miyazaki, H.iwai, and M. Kohl, "Effect of Rolling Reduction on the Deformation Texture and Anisotropy of Transformation Strain in Ti-50.2at.% Ni Thin Plates", *Materials Science and Engineering A.*, (1999) p.758
- 7) J. Hansen, J. Pospiech, and K. Lücke :*Tables for Texture analysis of Cubic Crystals*, Spring-Verlag (1978)