

頓田最終講義 H.20/3/7  
熊本大学工学部百周年記念館

# 38年間を振り返って

頓田 英機

所属 熊本大学 大学院 自然科学研究科  
産業創造工学専攻 マテリアル工学講座  
教育プログラム

熊本大学 工学部 マテリアル工学科

# 私の生い立ち

- (1) 昭和18年3月31日飯塚市生まれ、父親：熊本高等工業学校  
大正5年卒、7人兄弟(男5人の5男・女2人)、兄も皆：技術屋  
飯塚市飯塚小学校、世田谷区尾山台小学校、目黒区大岡山  
小学校、目黒区第八中学校、飯塚市第一中学校、  
福岡県立嘉穂高等学校
- (2) 昭和36年熊本大学工学部金属工学科入学、昭和40年卒業
- (3) 九州大学大学院冶金学専攻修士・博士昭和45年修了  
学位論文「銅結晶の初期変形に関する研究」
- (4) 昭和45年4月熊本大学奉職 爾来38年間



# 教官・教員になった経緯

1. 昭和40年不況(昭和35年:池田内閣の所得倍増計画・過大設備投資)
2. 国家公務員上級職  
(クラスから4名が合格)
3. 大学院進学したい
4. 川崎教授・堀教授から教官へ勧誘
5. 浅学菲才で能力的に不安



# 教員になった経緯 つづき

ティーチング・アワードを受賞したとき受賞コメントの文章から抜粋

- ある先生が自分のノートを読みながら講義をしていた。あるとき、一瞬とは言っても数秒間沈黙が続いた。なんと先生は眠っていたのだ。なんと**大胆**な先生だろうと感心した。
- ある先生が学生から「先生、そんな古いノートを使って新鮮な内容の講義ができるのですか」と質問を受けた。すかさず、先生は「真理は永遠なり」と応えた。この**気転**が素晴らしい。
- 私はこの大胆さや素早い気転いずれも持ち合わせていない私の持ち味は何だろうかと考えた。**一所懸命**ならば、自分でもできそうだと思った。爾来、**熱意**だけは忘れまい。



# 38年間の出来事

**昭和45年**: 講師として奉職、生協問題学生紛争、浅間山荘事件、担当授業科目(理論金属学通年)電子論・結晶回折・転位論、**研究装置ゼロ**からのスタート、Cu-Ti合金のPL効果、イヤ味の頓田のあだ名がついた(オニの本田・ホトケの桃崎)

**昭和47年**: 六方晶単結晶の変形を開始(亜鉛)

**昭和48年**: 学位取得(銅結晶の初期変形に関する研究)

**昭和50年**: 助教授

**昭和52年**: 千葉昂助教授就任(若手3人組千葉・頓田・本田)

**危機感**: 研究の活性化(大型予算を組んで、走査型顕微鏡、熱分析装置、引張試験機など共用研究装置を設置)  
教育の充実(学生実験室の改造、労働力の提供)

# 38年間の出来事 つづき

**昭和59年**:教授、高島和希(昭和53年卒)助教授就任  
衝撃エネルギー利用の研究開始

**昭和61年**:博士課程設立、安藤君62年入学  
バブル経済の始まり(平成4年終焉)

**昭和62年**:材料開発工学科発足(資源開発工学科と統合)

**昭和63年**:カリフォルニア工科大学留学

**平成08年**:知能生産システム工学科発足(機械工学科と統合)

**平成10年**:軽金属学会九州支部長

**平成14年**:ティーチングアワード(19年に2回目)

**平成17年**:JABEE取得

**平成20年**:退職、学科教え子1599名、研究室教え子278名



# 主な研究テーマ

**S45年** : ☆Cu-Ti合金のPL効果

**S47年～現在** :

☆六方晶単結晶金属の変形機構

亜鉛の変形(単結晶作製、エッチピット法の開発、2次錐面すべり系、積層欠陥をエッチピットで観察)

**S55年** : ☆Cu-Ni-Si合金(コルソン、電導性ばね材料)線引加工による電気抵抗の減少

# 主な研究テーマ

**S59年**: ☆衝撃エネルギー利用による粉末固化

成形の研究

Fe-Al-Cr耐熱鉄合金、純鉄、Nd-Fe-B、

Y-Ba-Cu酸化物超伝導体のコイル

高島和希教授

**S61年**: Cd単結晶の2次錐面すべり

安藤新二教授の博士論文テーマ

**H03年**: Mg単結晶の2次錐面すべり





# 主な研究テーマ

**H05年** : SiC繊維強化Ti合金・Fe-Si合金の  
破壊と疲労き裂伝播

**H06年～** : Ti単結晶のすべり変形

Ti単結晶疲労き裂伝播挙動の方位依存

**H07年～** : 転位芯構造・き裂先端の計算機解析

**H10年～** : Mg・Mg合金単結晶の引張・圧縮変形

**H16年～** : 熊大Mg合金の疲労強度

高強度Mg合金の開発・卜楽平博士研究

# 主な研究テーマ

**S45年** : ☆Cu-Ti合金のPL効果

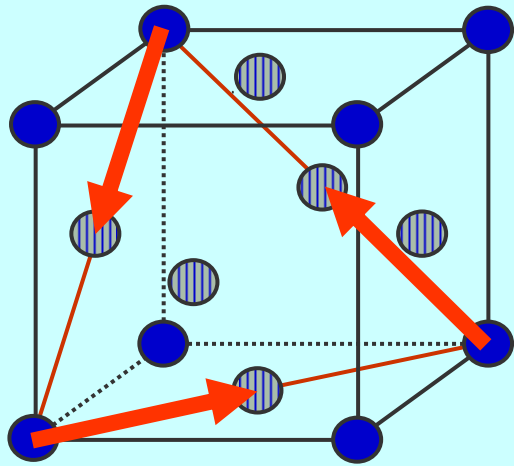
**S47年～現在** :

☆六方晶単結晶金属の変形機構

亜鉛の変形(エッチピット法の開発、  
2次錐面すべり系、積層欠陥をエッチ  
ピットで観察)

**S55年** : ☆Cu-Ni-Si合金(コルソン、電導性ばね  
材料)線引加工によって電気抵抗低下

# 金属の代表的な結晶構造

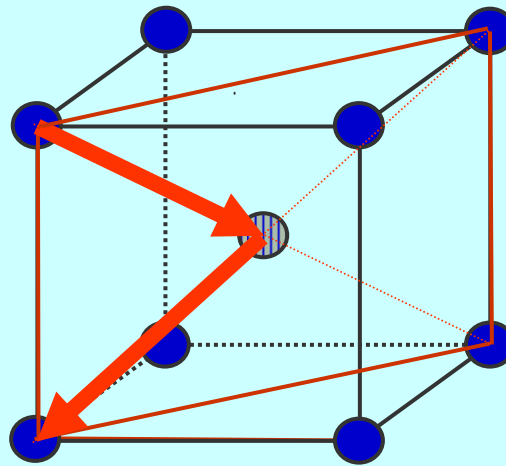


面心立方構造 (fcc)

すべり面 :  $\{111\}$

すべり方向 :  $\langle 110 \rangle$

すべり系の数 : 12

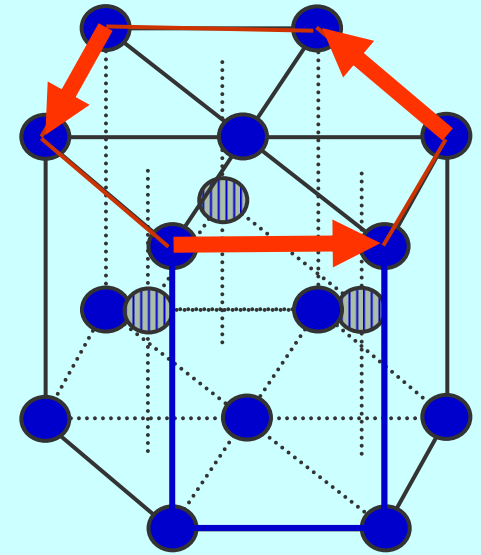


体心立方構造 (bcc)

すべり面 :  $\{110\}$ ,  
 $\{112\}$  or  $\{123\}$

すべり方向 :  $\langle 111 \rangle$

すべり系の数 : 48



六方最密構造 (hcp)

容易すべり面 :

$\{0001\}$  or  $\{10-10\}$

すべり方向 :  $\langle 11-20 \rangle$

すべり系の数 : 3



# 亜鉛のエッチピット 腐食液組成

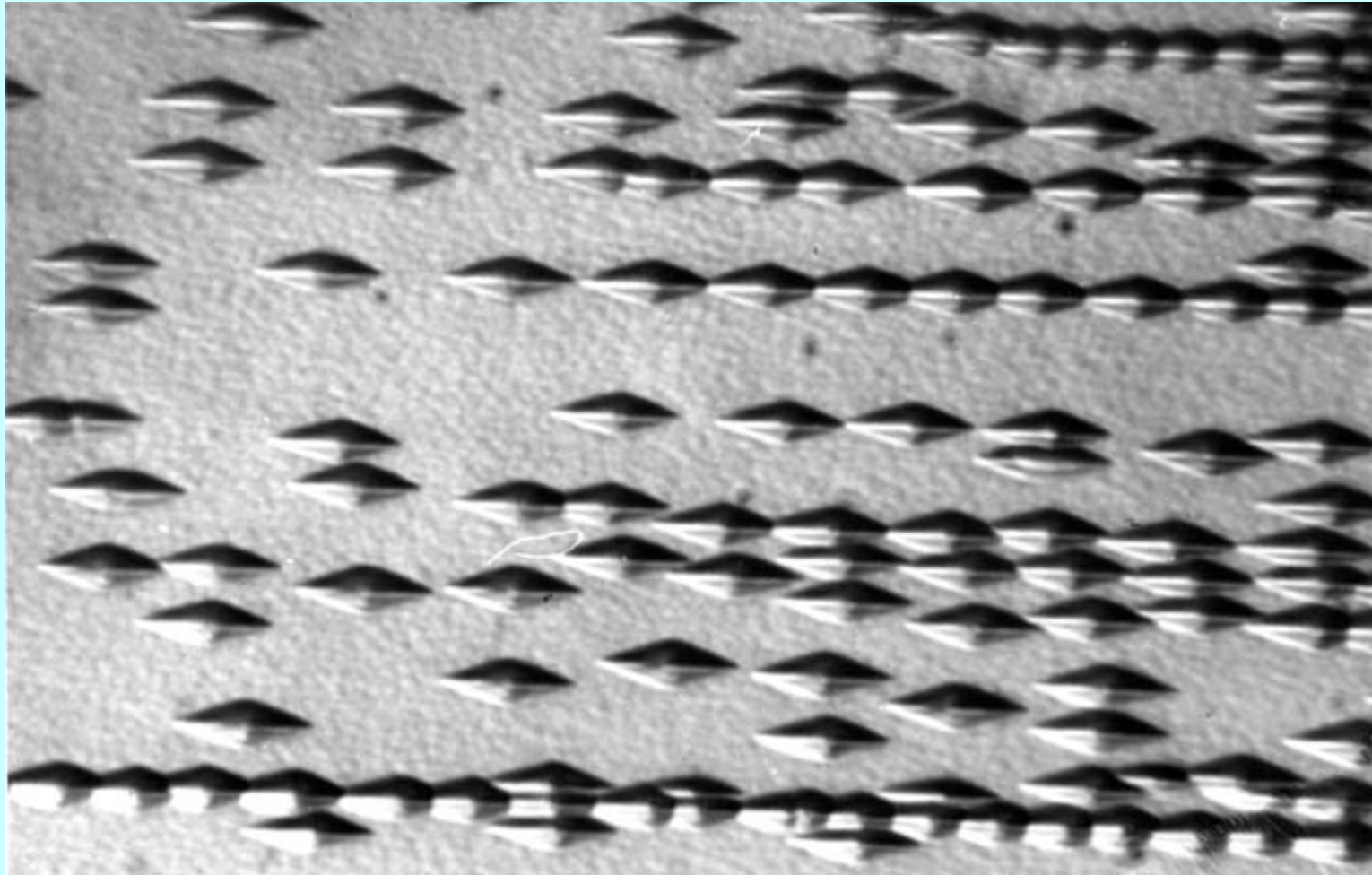
腐食面	{1120}		{1010}	{0001}
溶液名	G 液	K 液	N 液	T 液
35%過酸化水素水	10	5	10	10~30
36%塩酸	1~2		1	1~3
氷酢酸	190		40	10~30
ぎ酸		95		
水	50		20~40	1000

単位: cc



# 亜鉛の転位腐食孔(エッチピット)

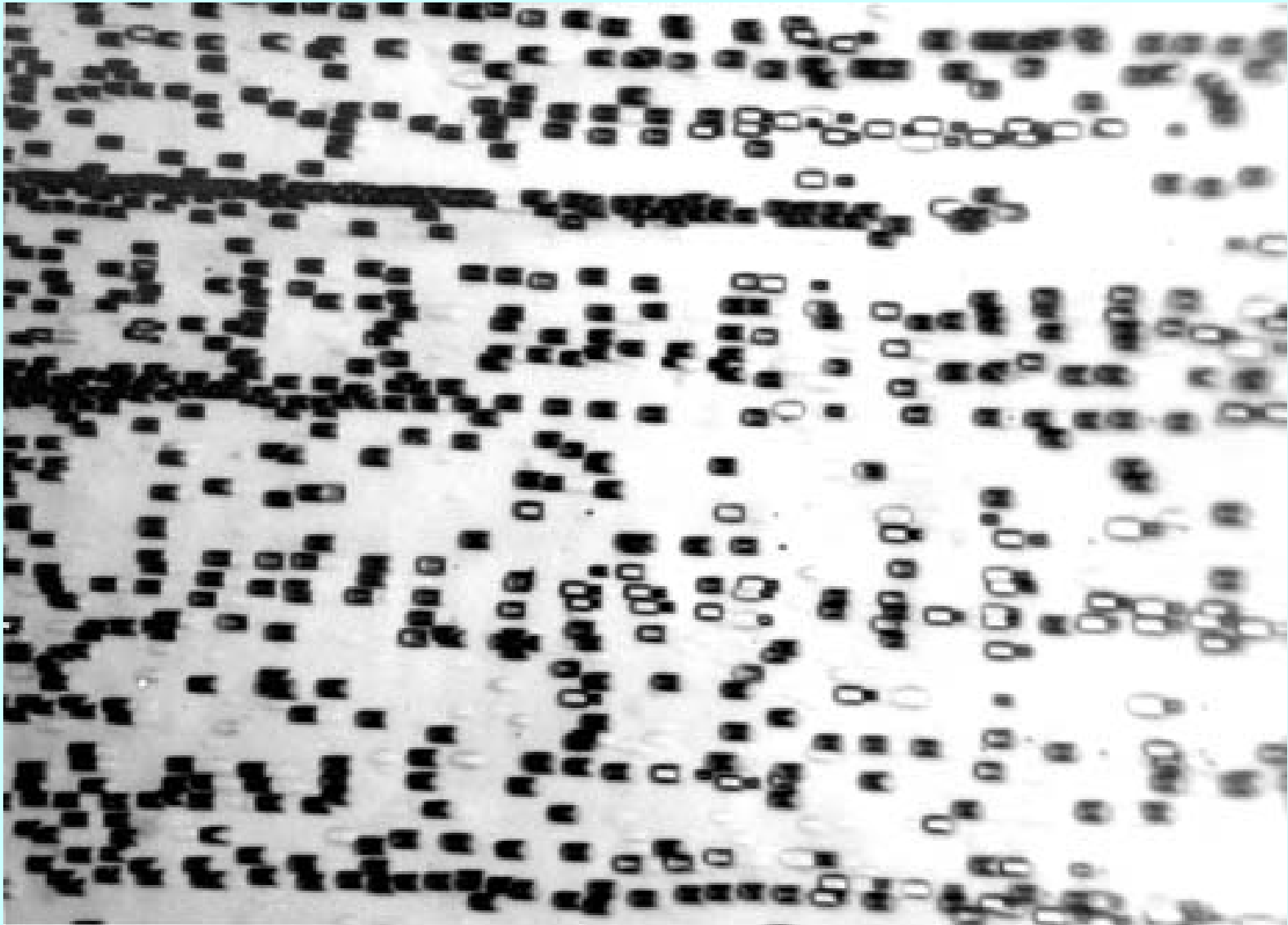
腐食観察面: {1120}、G 液



25  $\mu\text{m}$



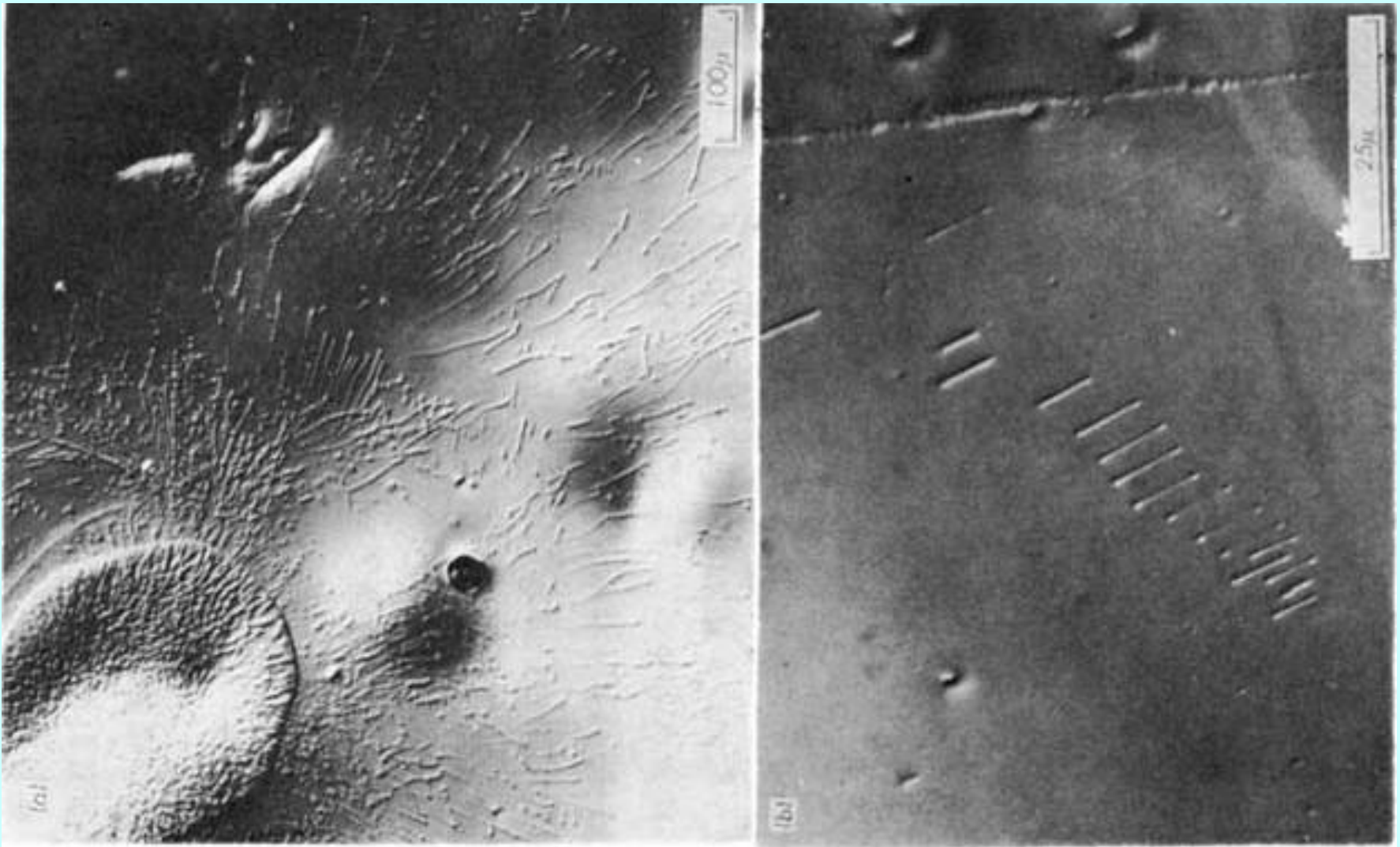
## 腐食観察面: {1120}、K 液



25  $\mu$  m



## 腐食観察面{0001}、T液

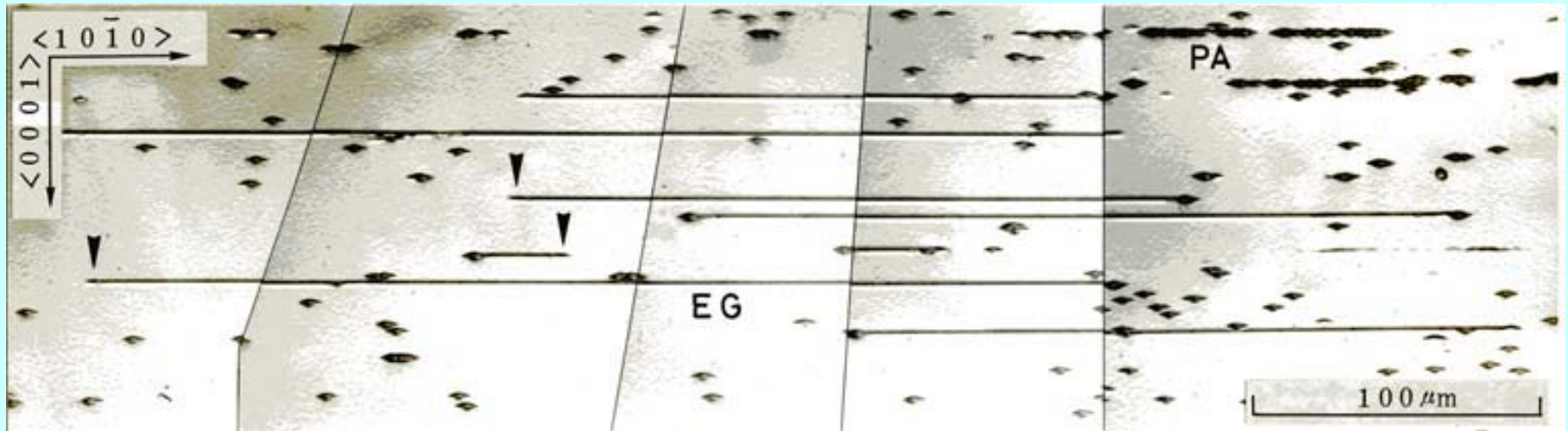


25 μm



# 積層欠陥の転位腐食液による観察

腐食観察面:  $\{11\bar{2}0\}$ 、G 液

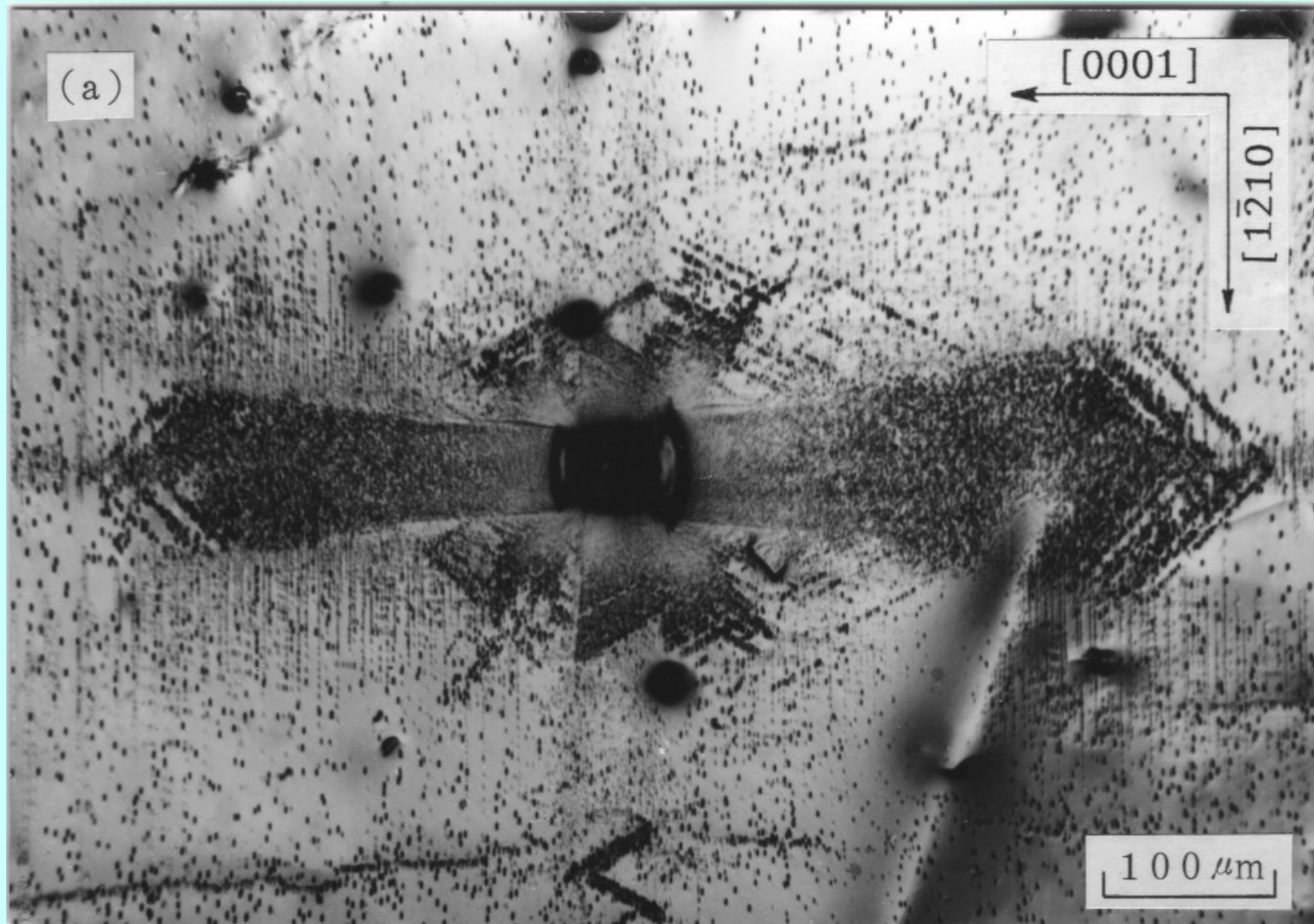


- 大気中、室温で1ヶ月酸化
- 直線溝が積層欠陥(0001)に対応
- 機構: 金属・酸化膜の界面で金属原子が酸化膜中に拡散し、空孔が発生する。空孔が集合し、積層欠陥を形成する。

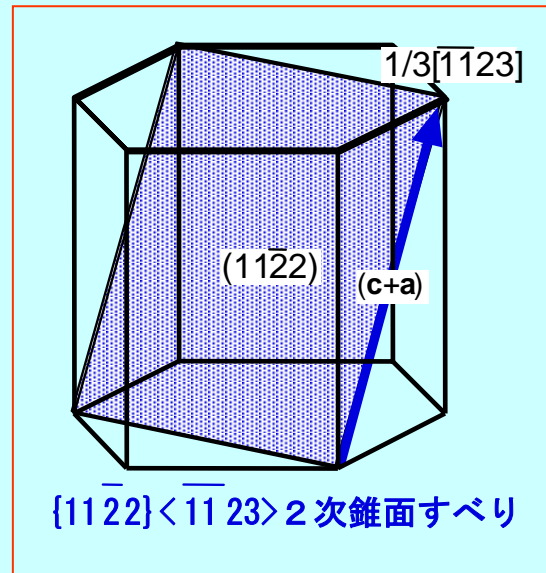
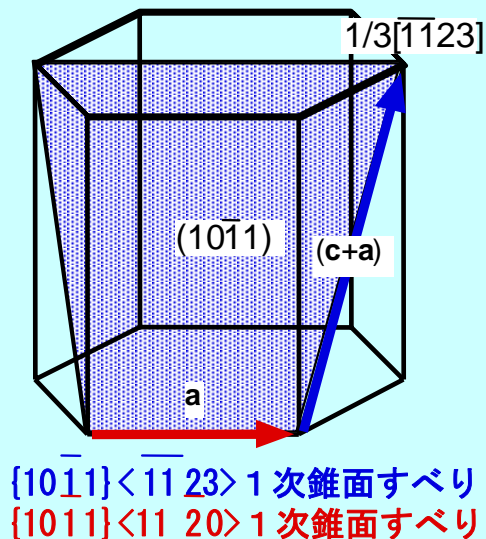
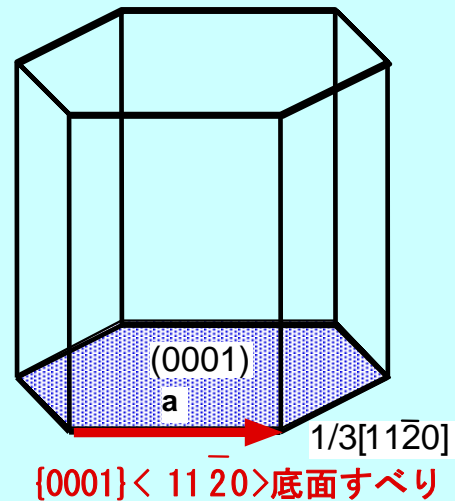
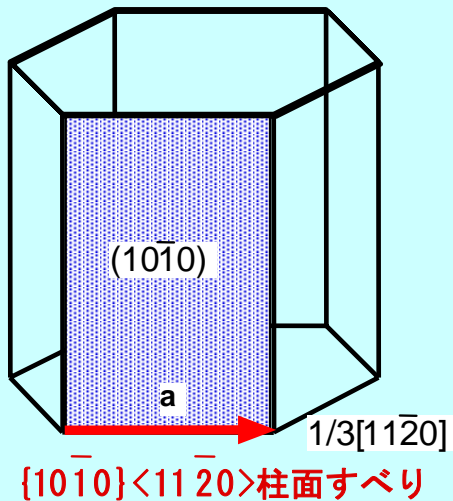


# 亜鉛のエッチピットによるすべりの観察

腐食観察面は $\{10\bar{1}0\}$ 、中央が針の圧痕、N液



# HCP金属のすべり系



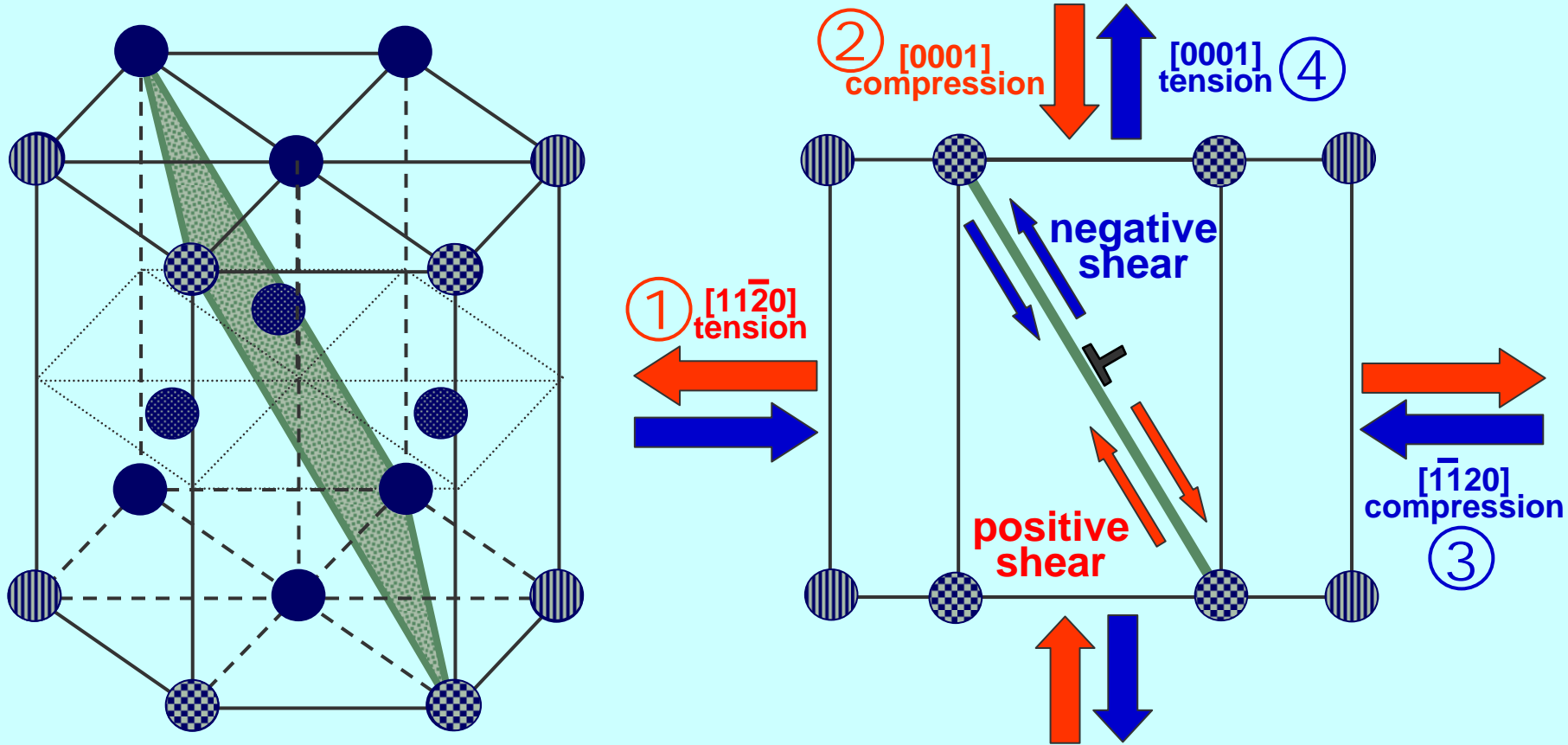
- 結晶が任意の形状に変形するには5つの独立すべり系が必要

**(von Misesの条件)**

- 底面すべり, 柱面すべりだけではすべり系が足りない.
- C軸方向の変形ができない.

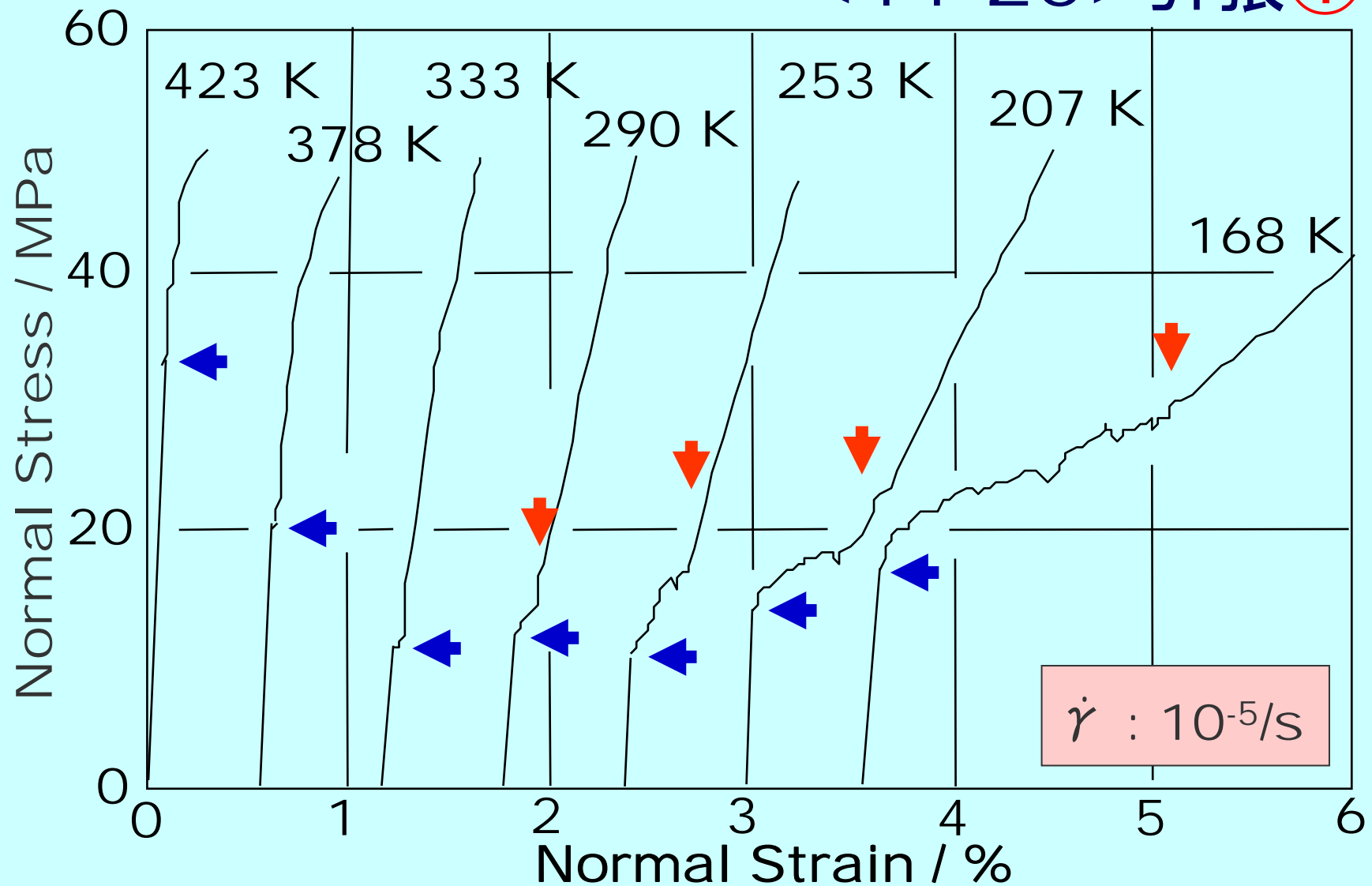
➔ (c+a)方向の錐面すべりの活動が必要

# 引張と圧縮によるせん断方向の変化

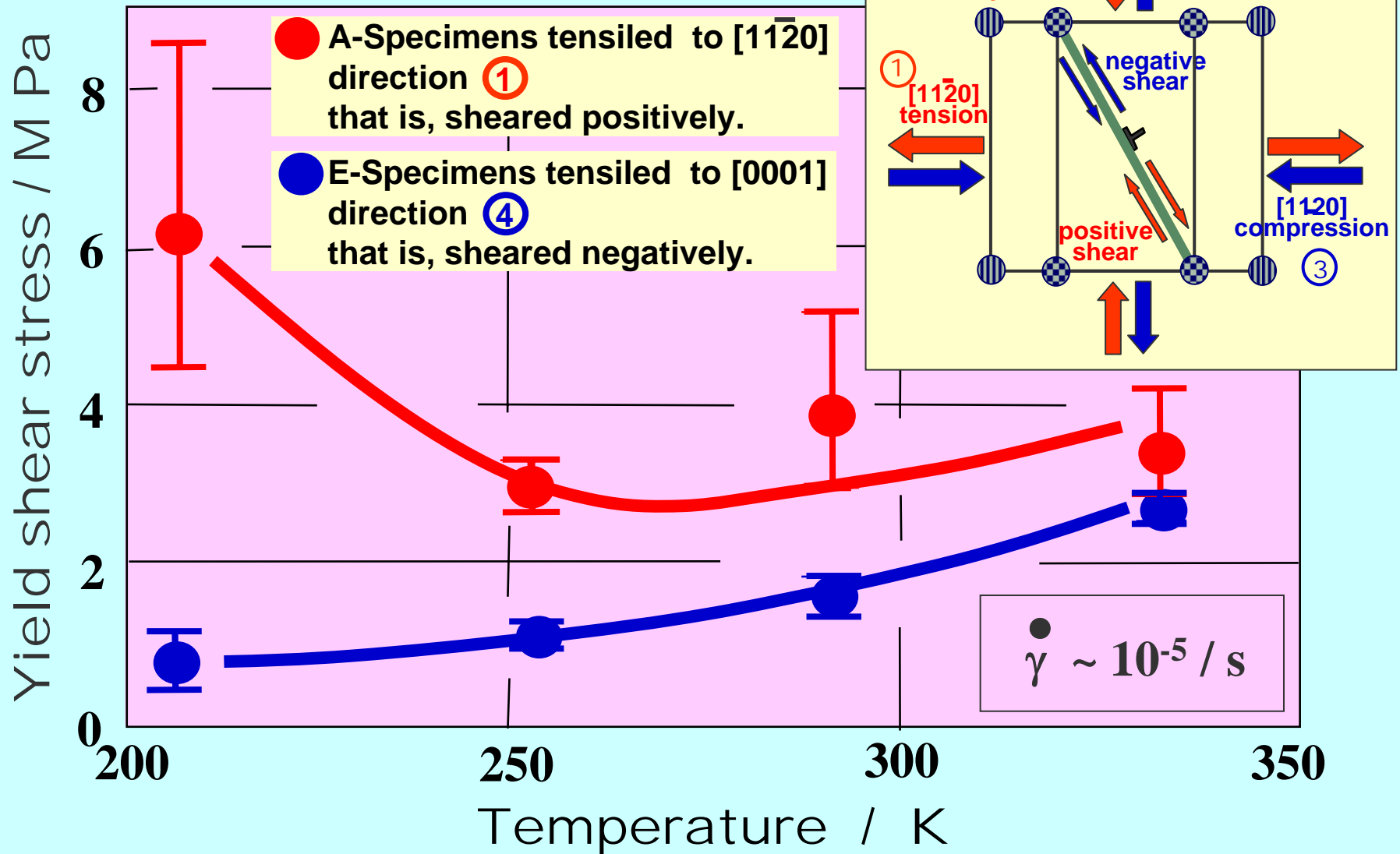


# 亜鉛の応力-ひずみ曲線

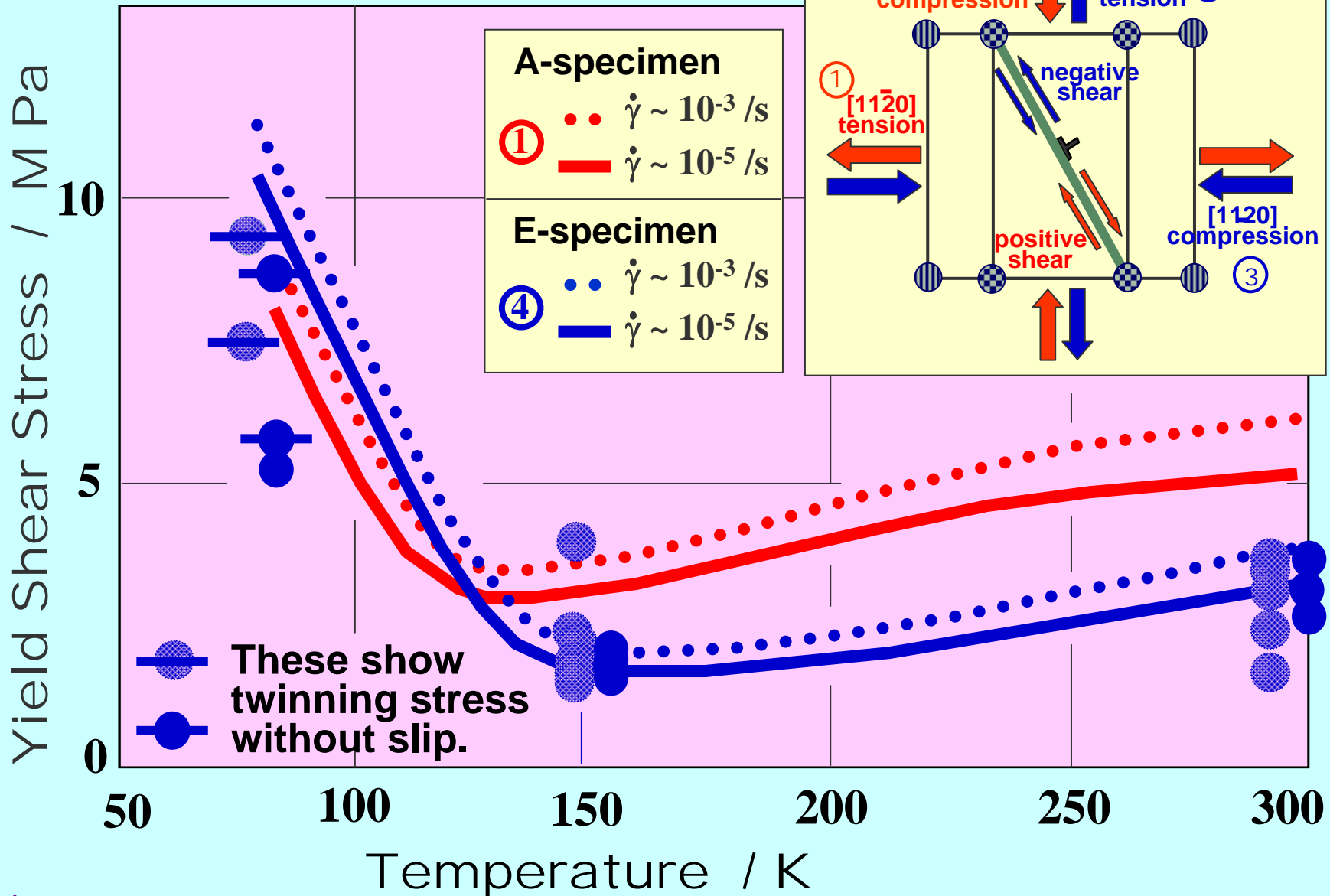
## <11-20>引張①



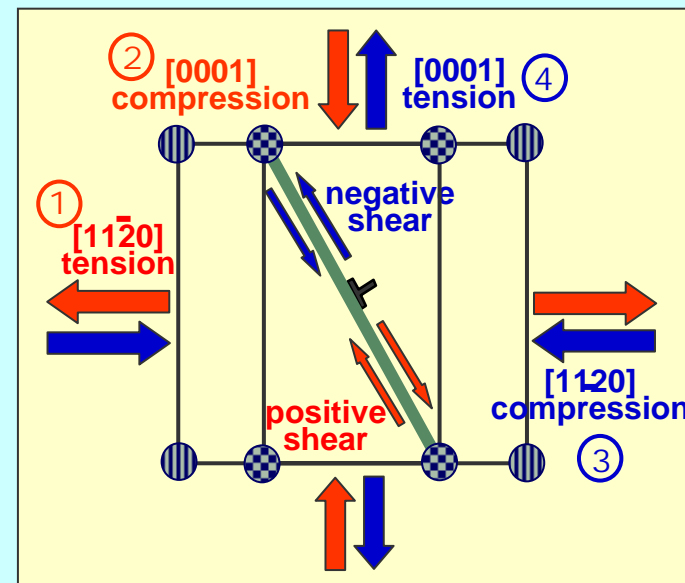
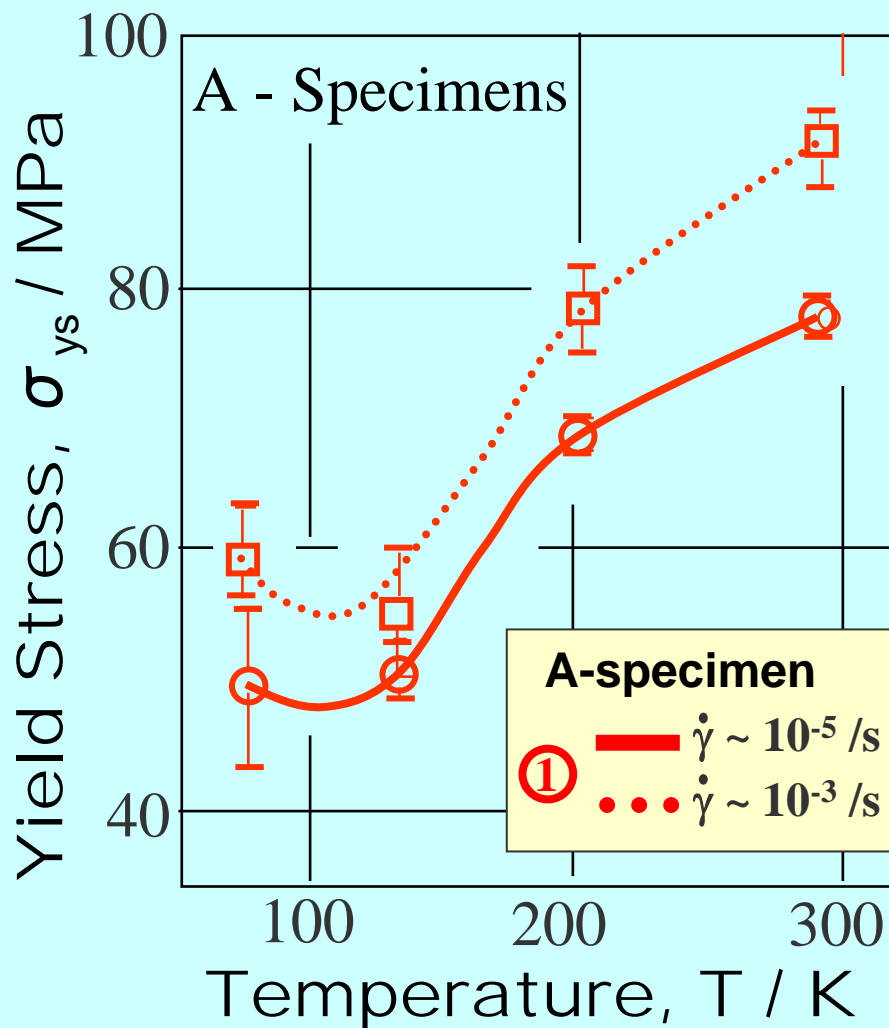
# Zn Crystals



# Cd Crystals



# 純 Mg 単結晶における降伏応力の温度依存性



A-Specimens tensiled to [1120] direction ①, that is, sheared positively.

(注) [0001] 引張による2次錐面すべりの調査はこのすべりを起こす前に双晶が発生するため不可能である。

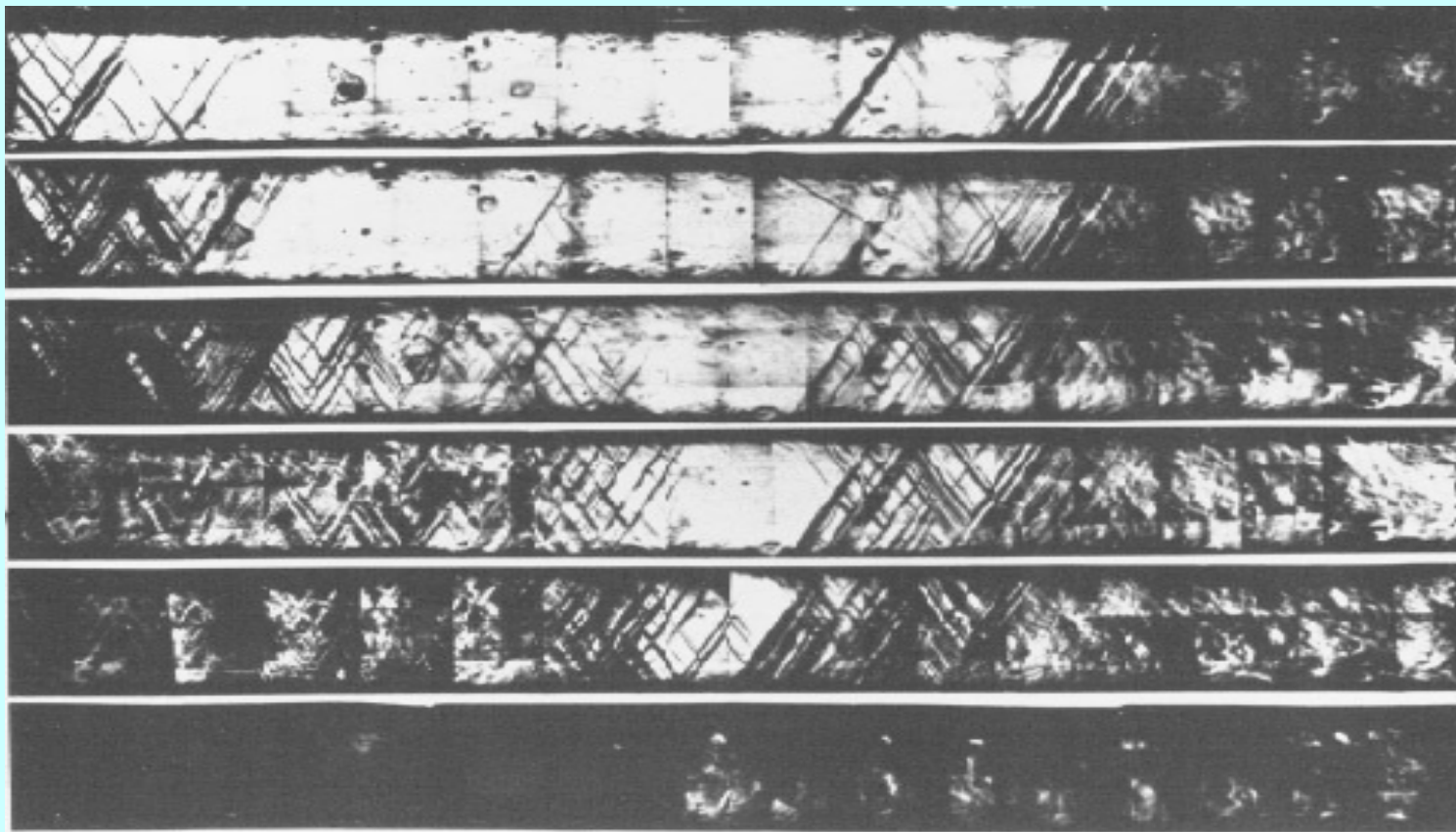
# 亜鉛における エッチピット観察

{11-22}すべり面  
のトレースがエッチ  
ピットバンドと一致

$\langle 11-23 \rangle$

207 K  
観察面は  
{10-10}

(1)  
(2)  
(3)  
(4)  
(5)  
(6)



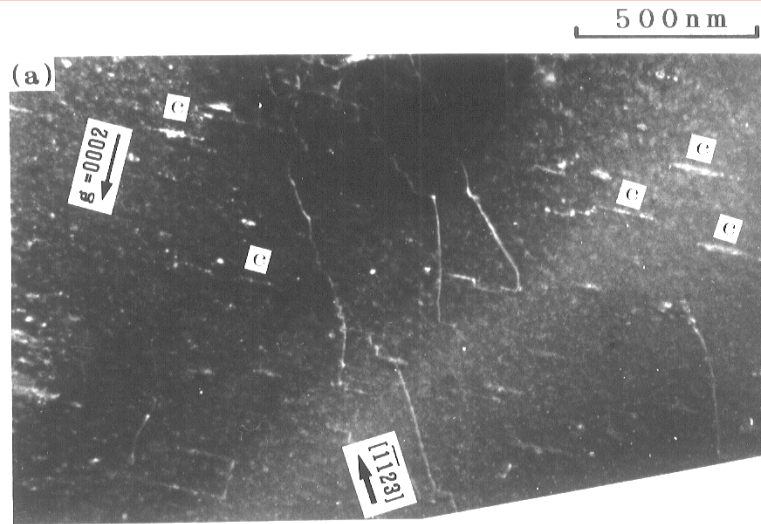
5 mm

Each strain of (1)-(6) corresponds to  $3 \times 10^{-4}$ ,  $5 \times 10^{-4}$ ,  $8 \times 10^{-4}$ ,  $11 \times 10^{-4}$ ,  $14 \times 10^{-4}$  and  $37 \times 10^{-4}$ , respectively.

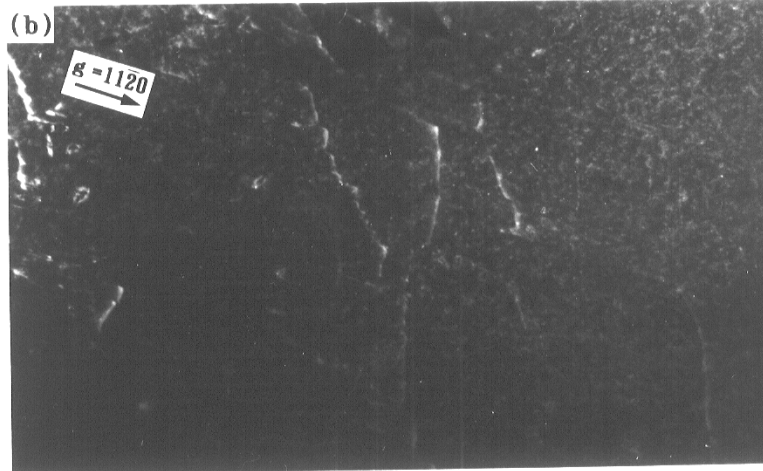


# Mgにおける透過型電子顕微鏡(TEM)観察

0002回折  
(c+a), c転位



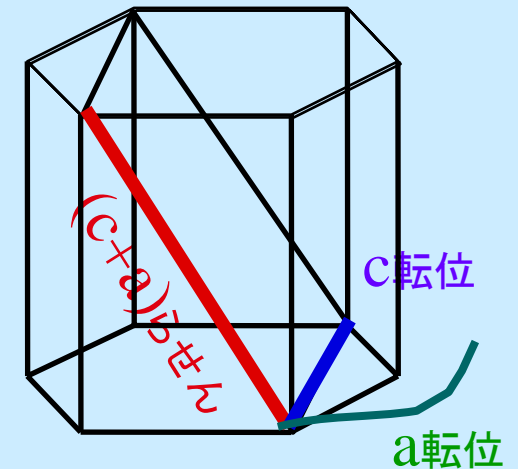
11-20回折  
(c+a), a転位



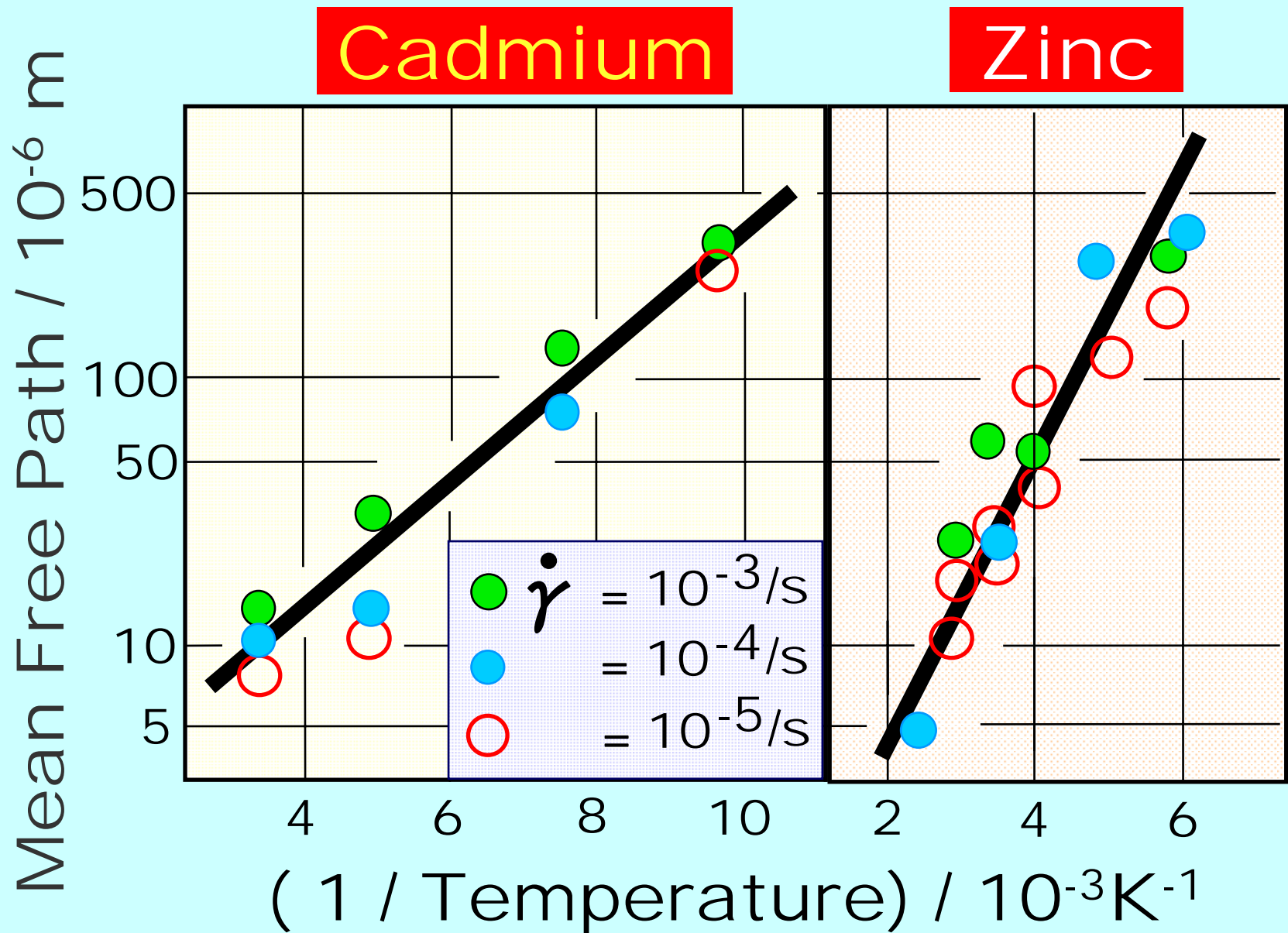
らせん転位が階段状になっているのは、交差すべりをしている証拠

293K,  $\epsilon = 0.034\%$

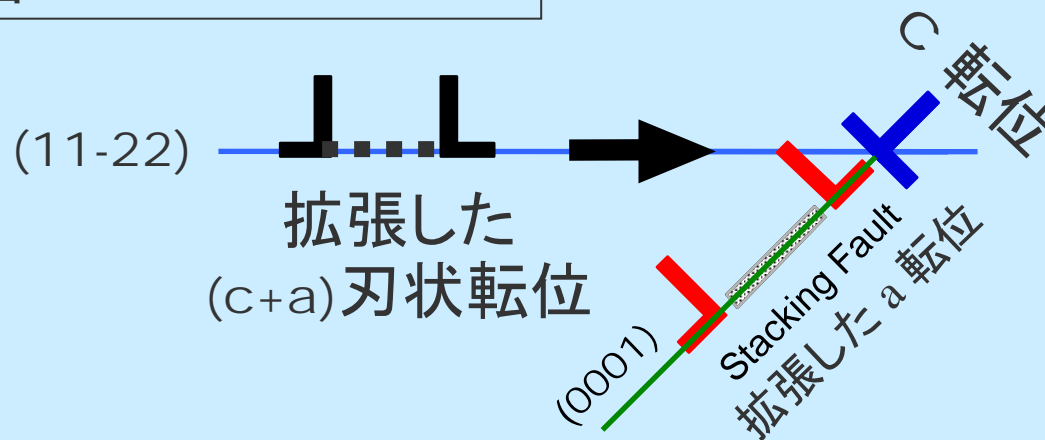
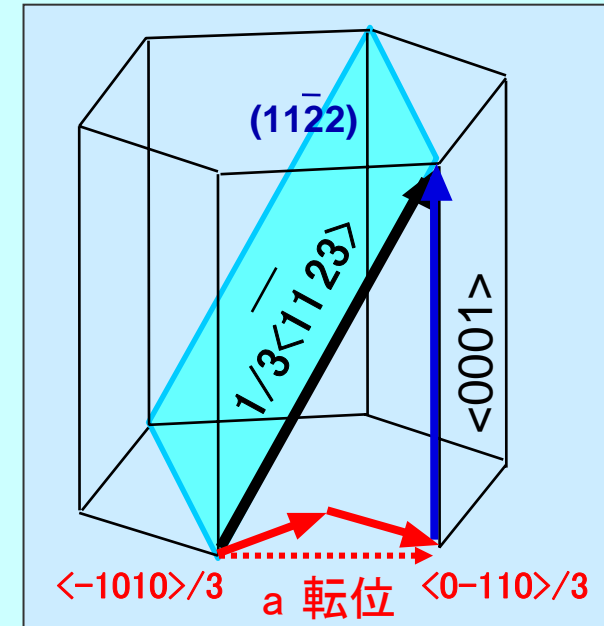
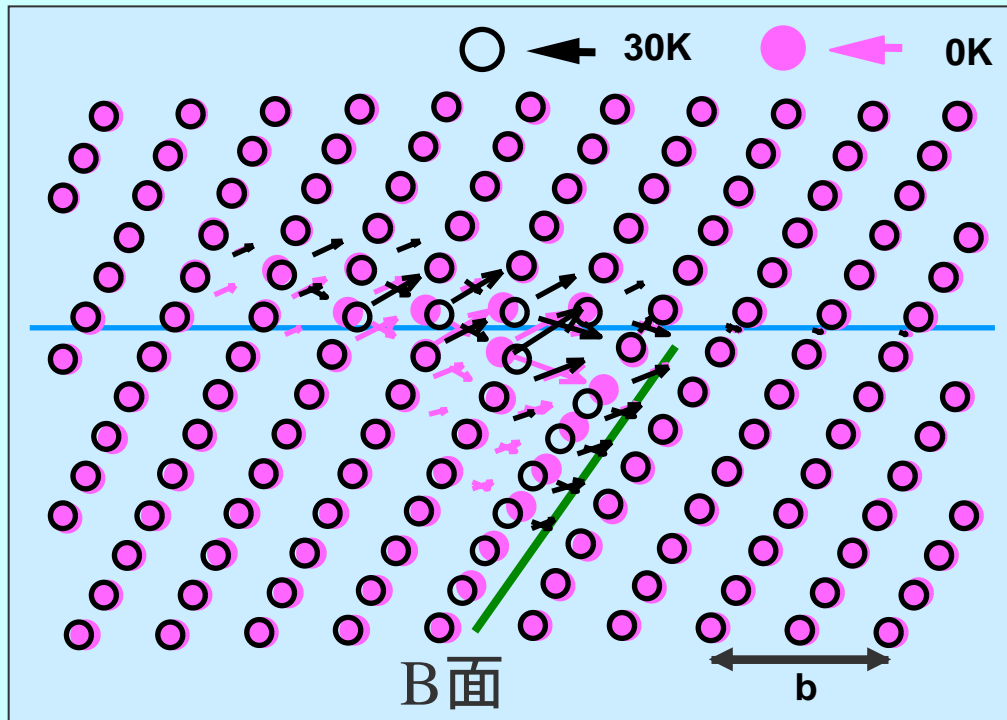
(c+a)らせん転位  
a転位  
c転位  
が観察される

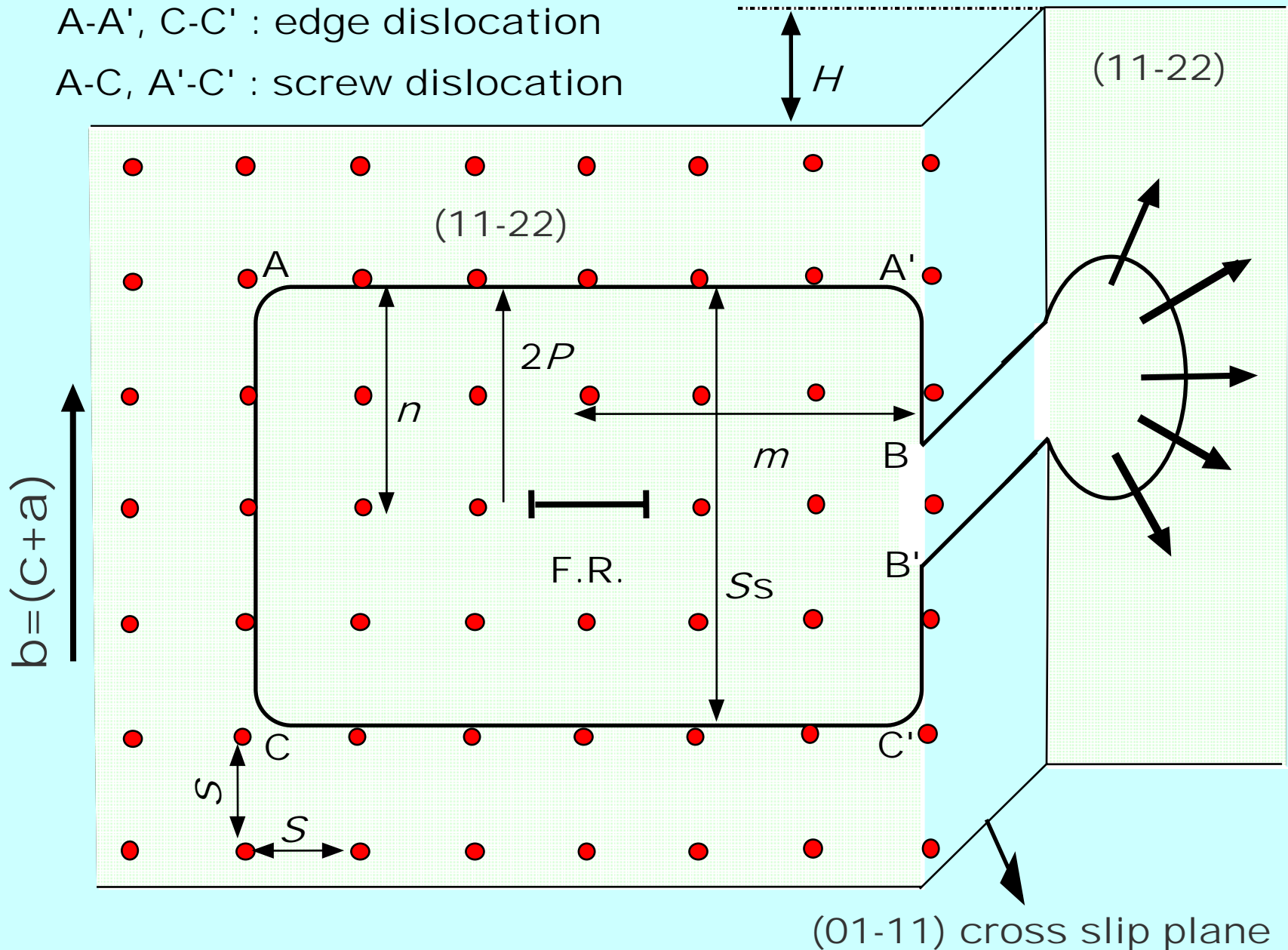


(c+a)  $\rightarrow$  c + a (転位の分解)



# (c+a)刃状転位の芯構造と分解





$$\dot{\gamma} = \left( \frac{N H S D b \nu_d}{2 L} \right) \times \left( \frac{\exp \left( - \frac{Q_c - V^* \tau_M}{k T} \right)}{\exp \left( - \frac{Q_s}{k T} \right) \exp \left( - \frac{Q_s}{k T} \right)} \right) \quad (14)$$

$N$ : 増殖源の密度、 $H$ : 交差すべりする高さ、 $S$ : 障害物間隔、 $D$ : 増殖転位密度  
 $b$ : バーガスベクトル、 $\nu_d$ : 転位の振動数、 $L$ : 試料のすべり面に垂直方向の長さ、 $Q_c$ : 交差すべりの活性化エネルギー、 $V^*$ : 活性化体積、 $\tau_M$ : 変形に必要な外部せん断応力、 $Q_s$ : 不動化の活性化エネルギー、 $k$ : ボルツマン定数、 $T$ : 絶対温度

Element	c/a	S l i p   S y s t e m															
		Basal {0001}<1120>			Prism {1010}<1120>			FPAS {1011}<1120>			FPCS {1011}<1123>			SPCS {1123}<1123>			
Cd	1.886	<0.1	*						~7	**	[1]				~7	**	[1]
Zn	1.856	<0.1	*												~5	**	[2~4]
	1.633																
Mg	1.624	~0.5	*		~40	**	[6]		**	[10]	~50	**	[5]	~40	**	[5]	
Co	1.623		*												**	[7]	
Zr	1.589		**			*			**						**		
Ti	1.587	~80	**		~20	*			**						**	[8]	
Be	1.568	~5	*			**									**	[9]	

Note: The numerical value in the first column in each of possible slip systems shows critical resolved shear stress in MPa at ambient temperature, and the column shows references. \* shows the easiest slip system and \*\* the next easiest slip systems. Data without reference are information in various textbooks. FPAS is the first order pyramidal slip system with a Burgers vector, FPCS the first order pyramidal slip system with (c+a) Burgers vector and SPCS the second order pyramidal slip system with (c+a) Burgers vector.

# 主な研究テーマ

**S45年** : ☆Cu-Ti合金のPL効果

**S47年～現在** :

☆六方晶単結晶金属の変形機構

亜鉛の変形(単結晶作製、エッチピット

法の開発、2次錐面すべり系、積層欠陥

をエッチピットで観察)

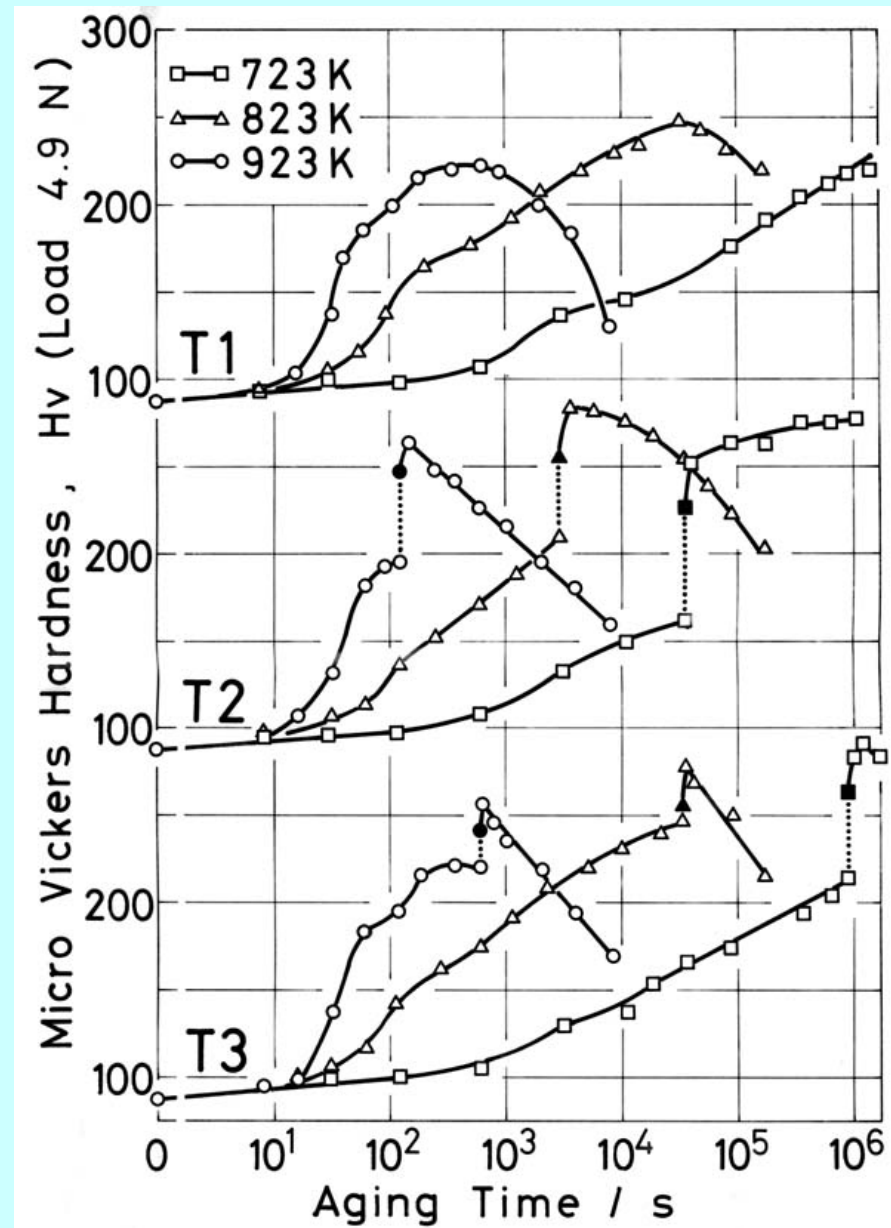
**S55年** : ☆Cu-Ni-Si合金(コルソン、電導性ばね

材料)線引加工によって電気抵抗低下

# 時効硬化曲線

Cu-20mass%Ni-  
0.5mass%Si  
(コルソン合金)

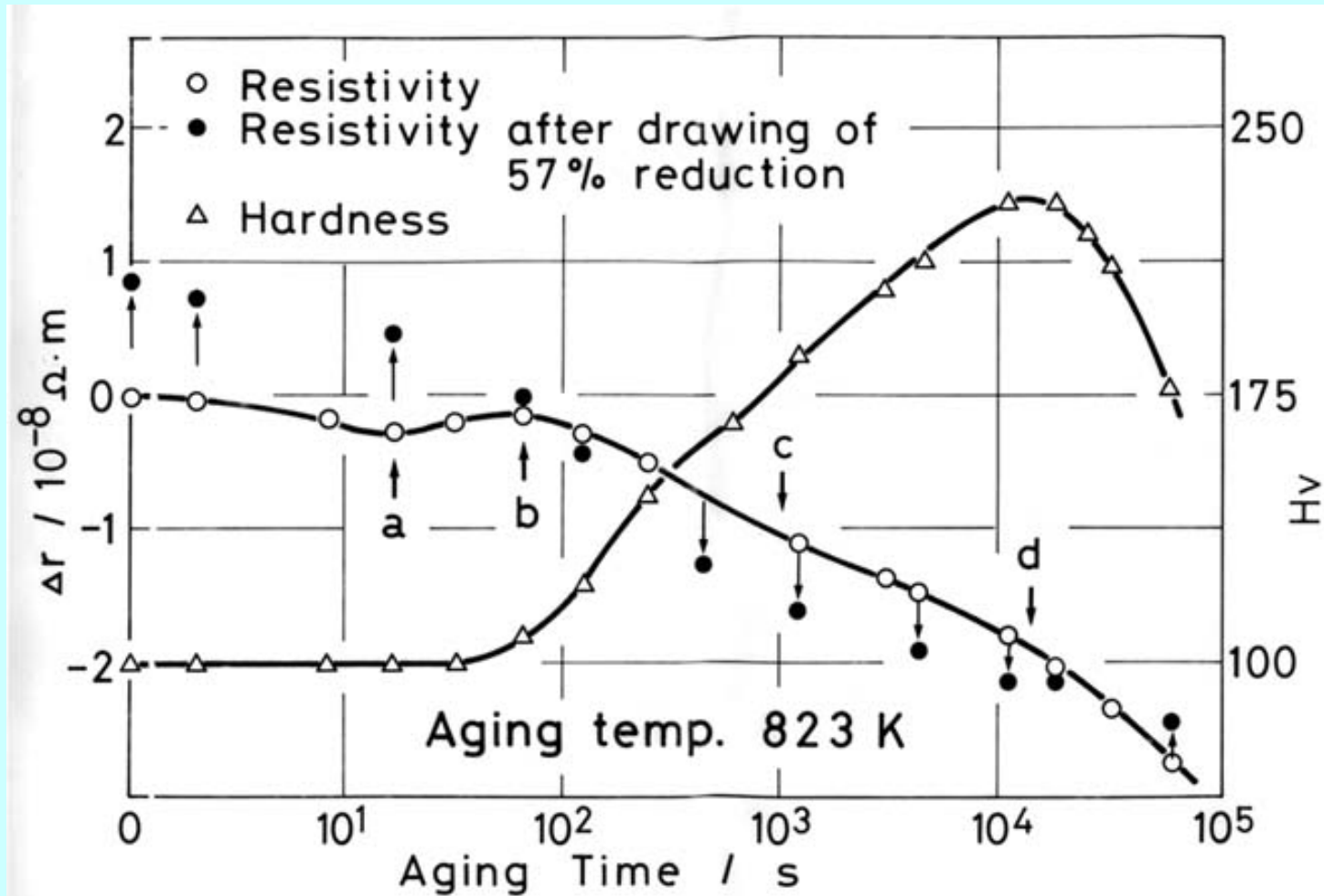
冷間線引加工  
(断面収縮率50%)





# 加工による電気抵抗変化時効硬化曲線

## 冷間線引加工(断面収縮率57%)



## 主な研究テーマ

**S59年**: ☆衝撃エネルギー利用による粉末固化  
成形の研究

Fe-Al-Cr耐熱鉄合金、純鉄、Nd-Fe-B、  
Y-Ba-Cu酸化物超伝導体のコイル  
高島和希教授

**S61年**: Cd単結晶の2次錐面すべり  
安藤新二教授の博士論文テーマ

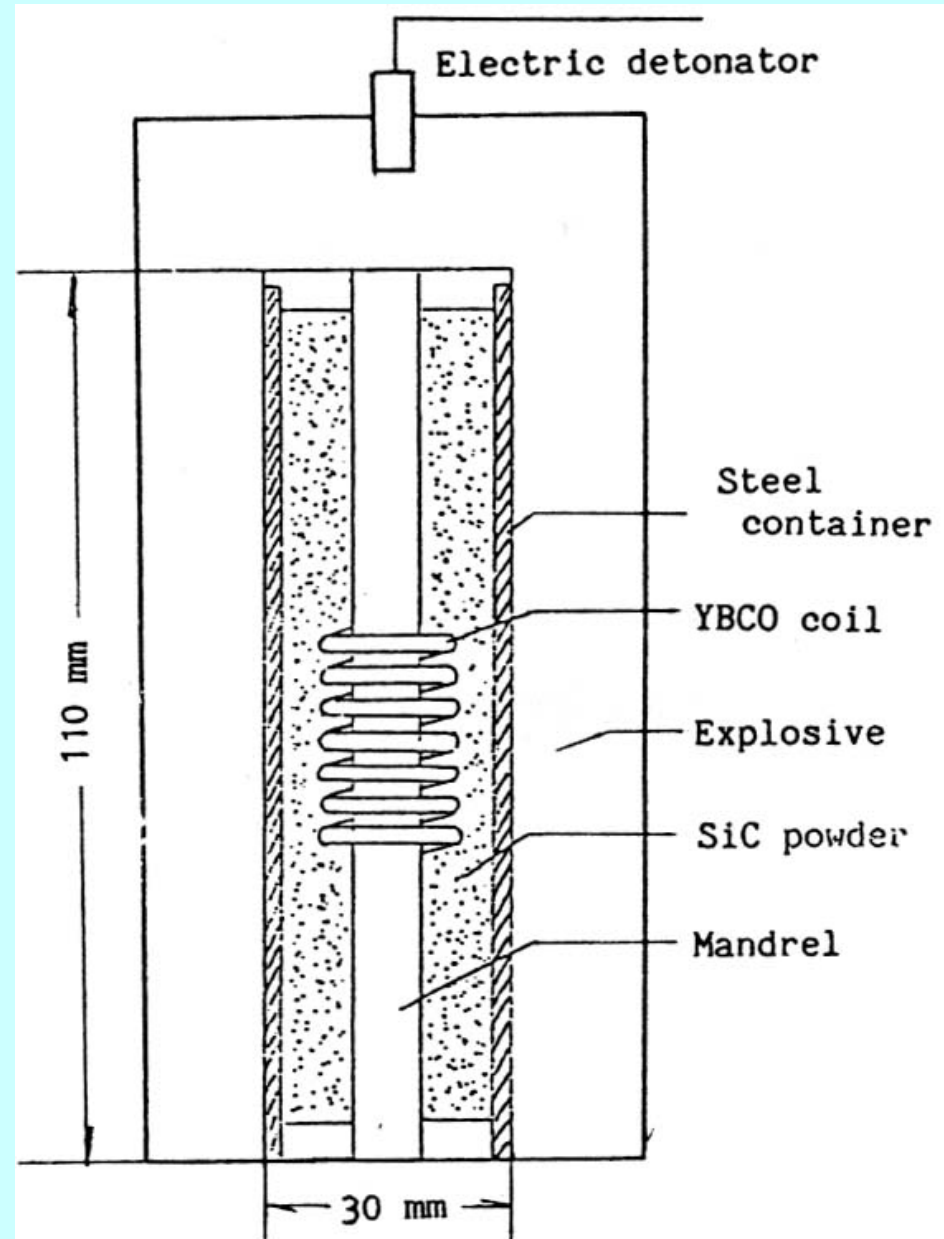
**H03年**: Mg単結晶の2次錐面すべり



# 爆発圧縮装置

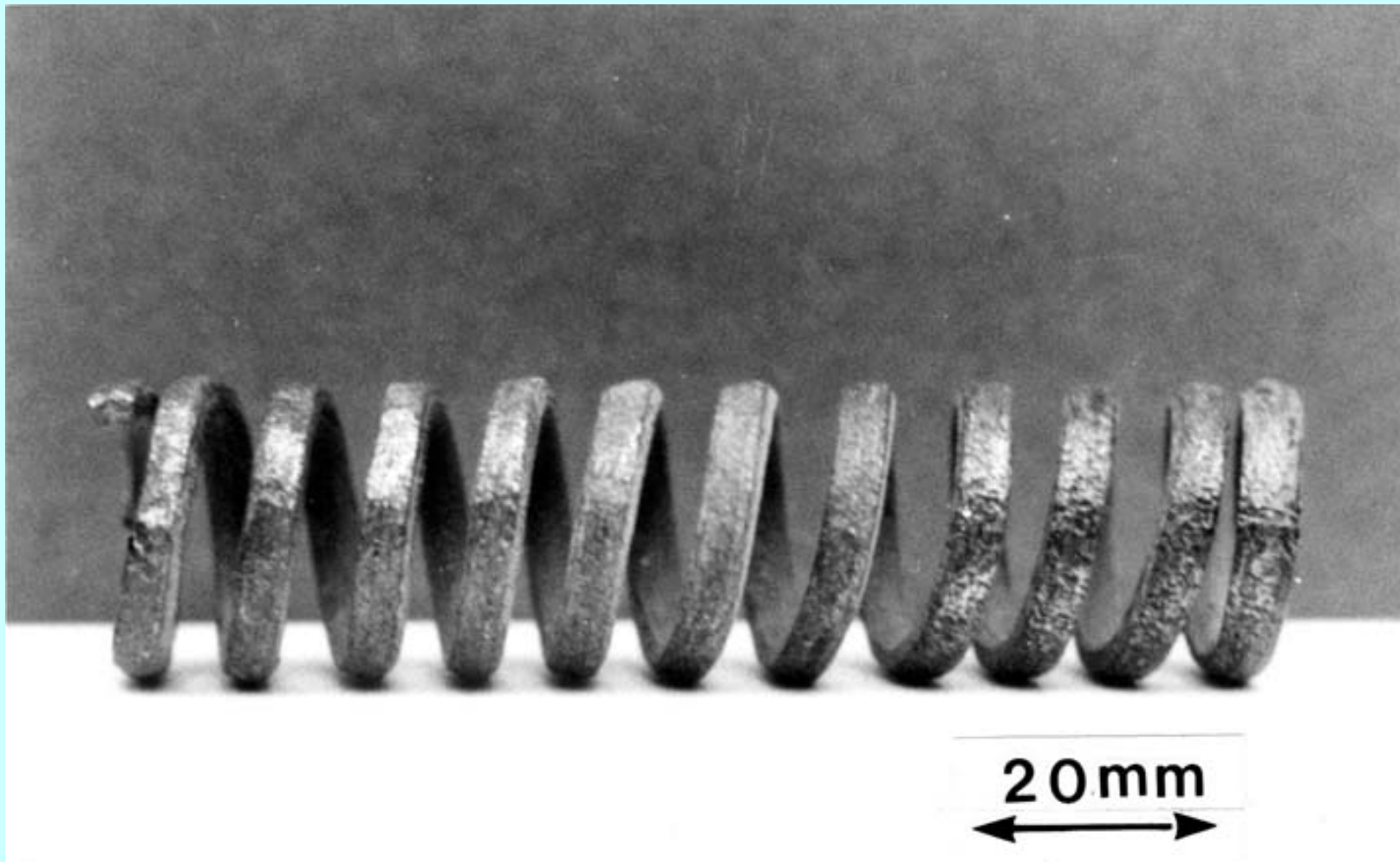
爆薬: PAVEX

(爆速: 2300m/s)

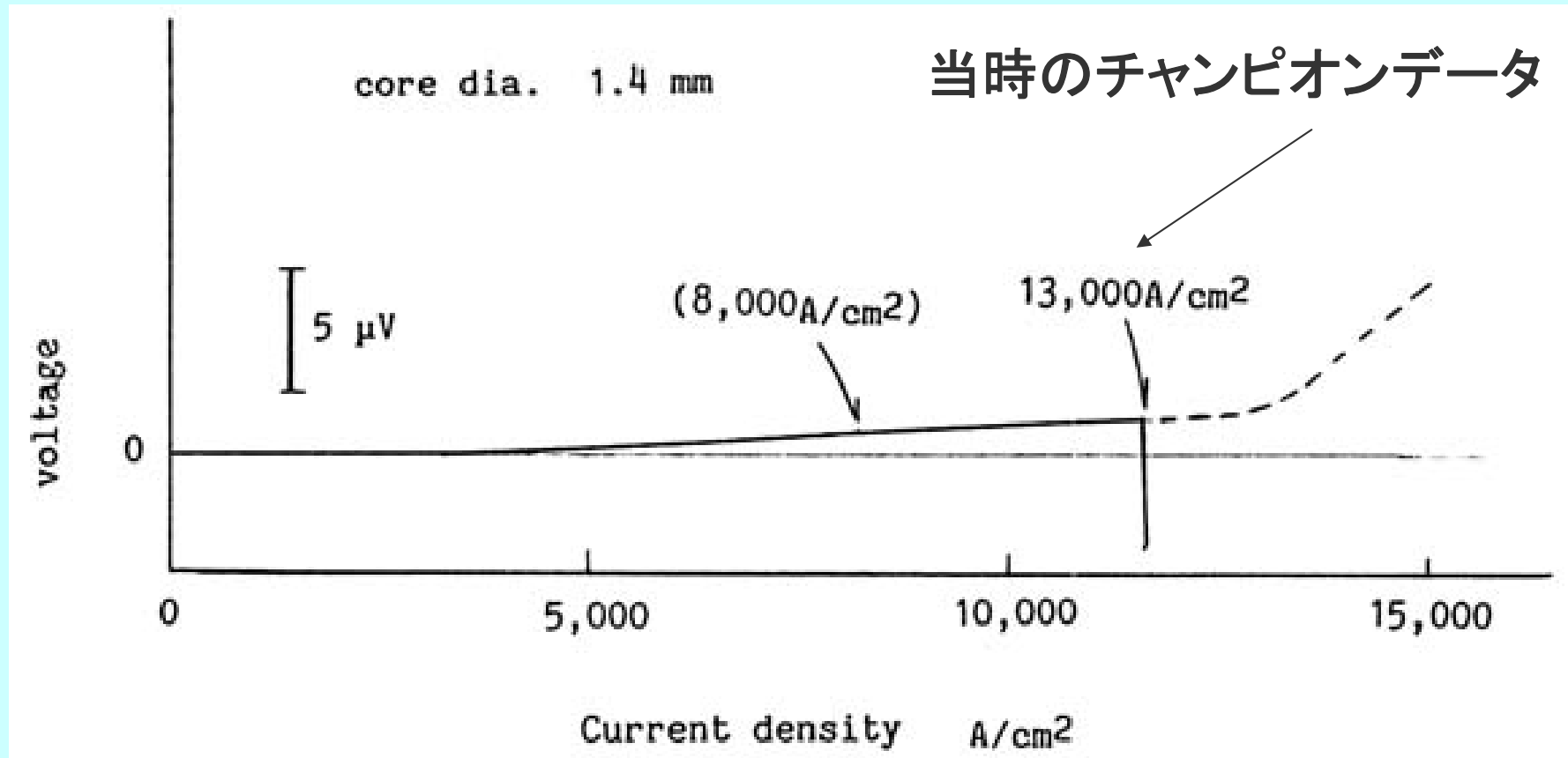


# 圧縮後の外観

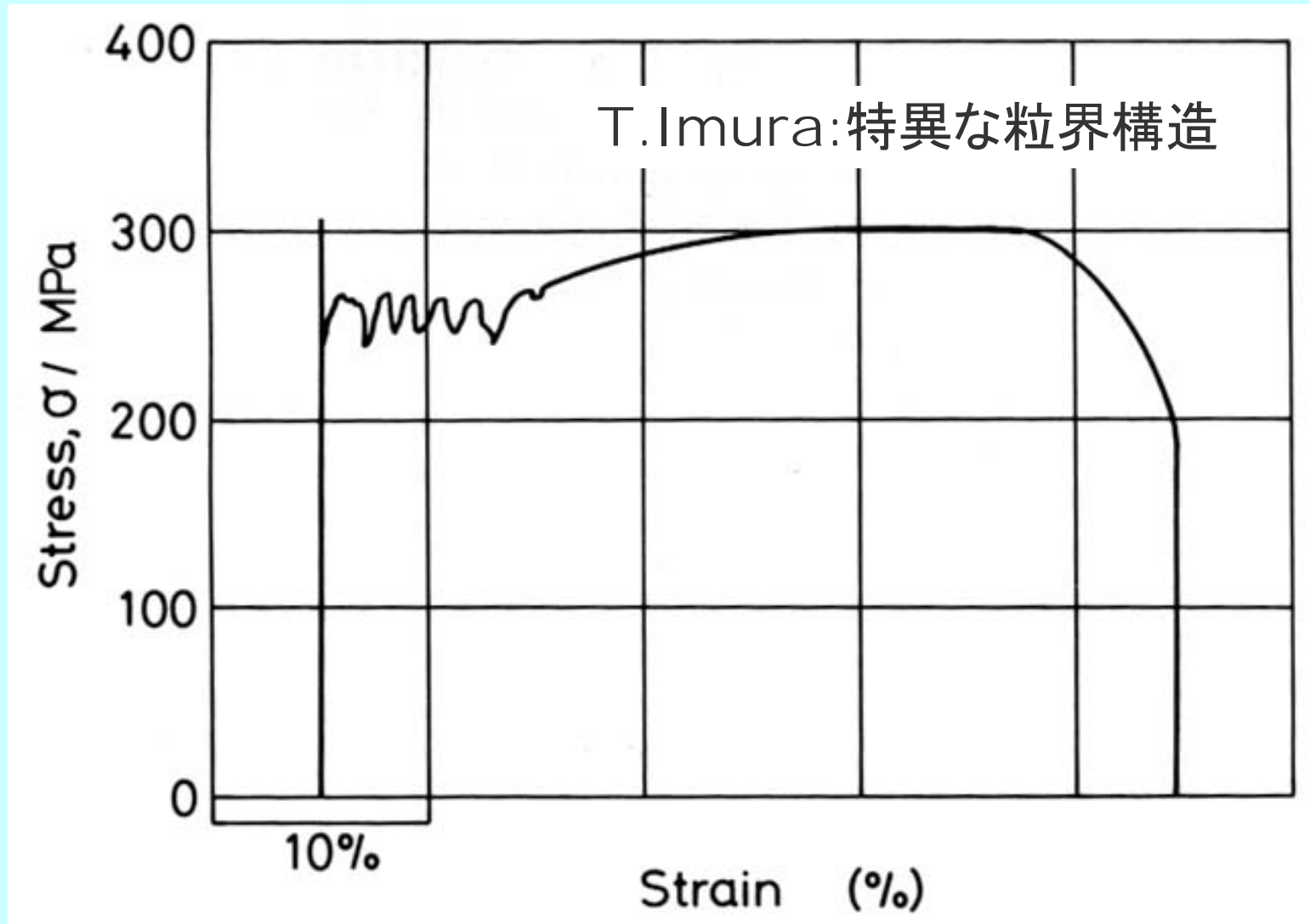
## コイルは純銀製の鞘 酸化物超伝導体は $Y_1Ba_2Cu_3O_7$



# 超伝導コイルの電圧—電流曲線



# 爆発圧縮された純鉄粉の応力-ひずみ曲線 焼鈍(1123K, 900s、結晶粒径: 13 $\mu\text{m}$ )



# 主な研究テーマ

**H05年** : SiC繊維強化Ti合金・Fe-Si合金の  
破壊と疲労き裂伝播

**H06年～** : Ti単結晶のすべり変形

Ti単結晶疲労き裂伝播挙動の方位依存

**H07年～** : 転位芯構造・き裂先端の計算機解析

**H10年～** : Mg・Mg合金単結晶の引張・圧縮変形

**H16年～** : 熊大Mg合金の疲労強度

高強度Mg合金の開発・卜楽平博士研究

# 主な研究テーマ

## 現在のその他のテーマ

○Mgの非底面すべりに対する純度の影響

○ARBを施した工業用純Ti・純Alの疲労き裂

## 進展挙動

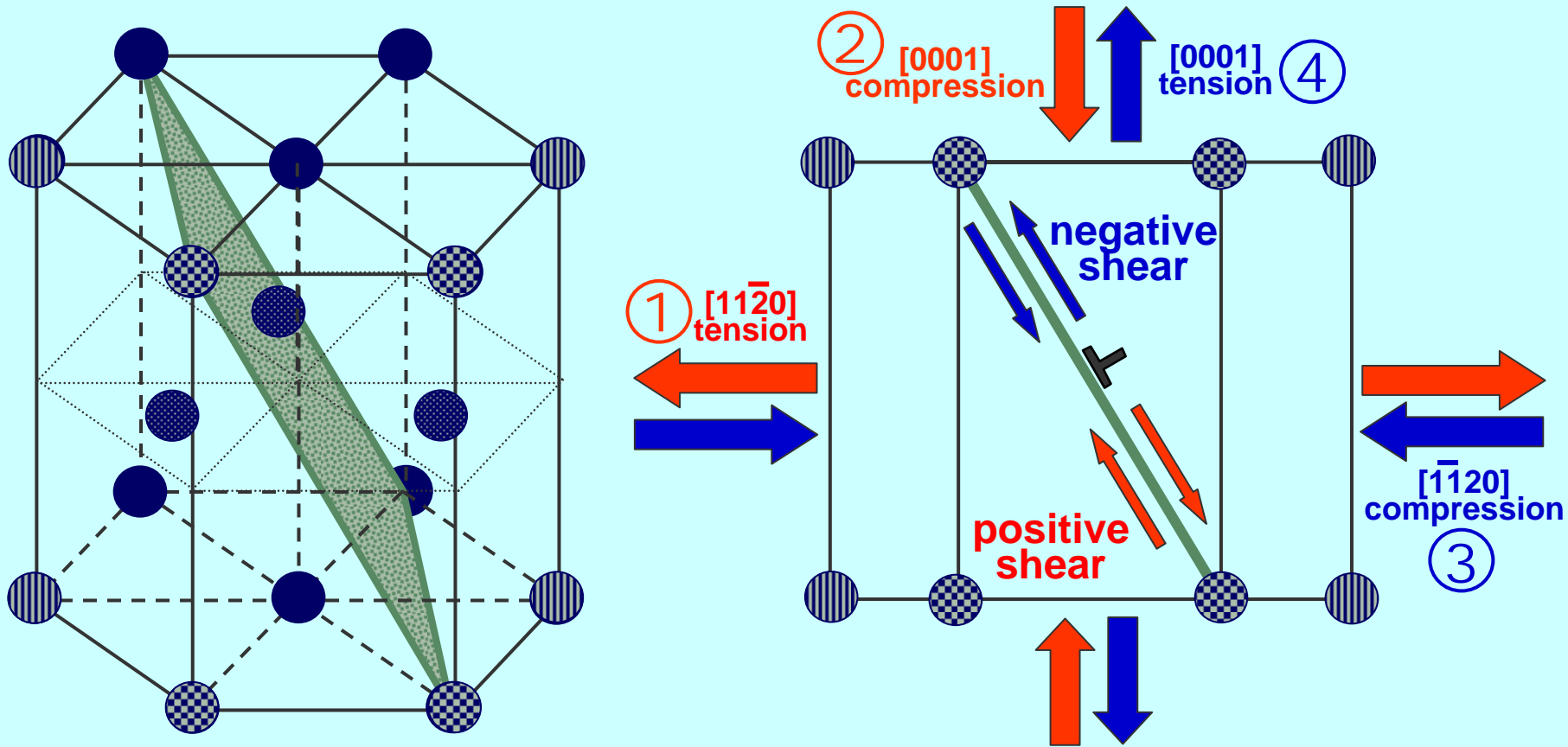
○純Mg単結晶のC軸圧縮による変形挙動

○純Ti単結晶のC軸引張における室温クリープ

## 変形



# 引張と圧縮によるせん断方向の変化



# 研究の総括

分からないところが、まだまだ  
沢山あります。だから面白い  
です。後輩たちが解決してくれ  
るでしょう。



おわりに

和して流れず

和而不流

孔子 論語

