

A5052-Oの結晶塑性解析に与える 集合組織離散化方法の影響

吉田研究室 M2
辻 智文

研究背景

アルミニウム合金を自動車ボディへ適用

・軽量化のために利用が拡大



<https://www.gooworld.jp/>



成形シミュレーション

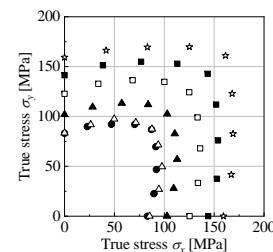
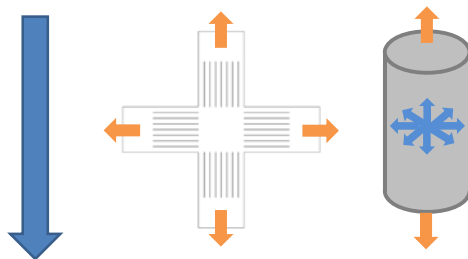
⇒塑性異方性が大きく割れやしわの予測が難しい

成形シミュレーション精度の向上が求められている

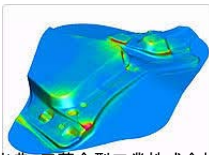
1

二軸応力試験 ⇒ 降伏関数の同定

(二軸引張試験
二軸バルジ試験)



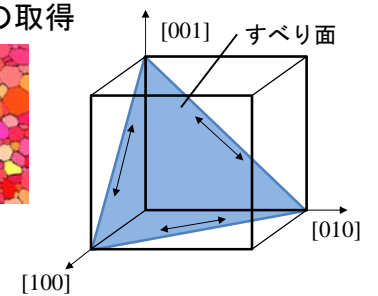
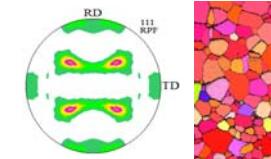
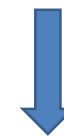
成形シミュレーション



出典:三菱金型工業株式会社

2

X線回折, EBSD ⇒ 集合組織データの取得

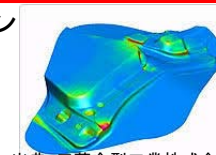


結晶塑性解析による数値材料試験
⇒ 降伏関数の同定



実験では測れない領域や
いかなる応力状態も模擬できる

成形シミュレーション



出典:三菱金型工業株式会社

実験に代わる数値材料試験

3

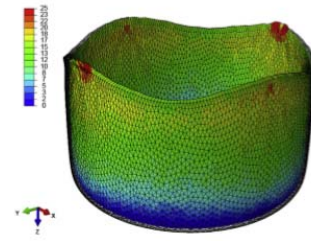
- 多結晶塑性解析によって降伏関数に含まれる異方性係数を決定し、それに基づくカップ成形の解析結果はよく一致していた

Zhang, H. et al.: Int. J. Plasticity, 45(2016), 111-138.
Gawad, G. et al.: Int. J. Plasticity, 75(2015), 141-169.

- X線回折で得た集合組織情報の離散化方法によってR値の予測結果が異なる

M.A.Melchior et al.: Computational Materials Science 37(2006), 557-564.

集合組織からどのように多結晶モデルを創成するかは解析精度向上のために重要



4

- 多結晶塑性解析によって降伏関数に含まれる異方性係数を決定し、それに基づくカップ成形の解析結果はよく一致していた

Zhang, H. et al.: Int. J. Plasticity, 45(2016), 111-138.
Gawad, G. et al.: Int. J. Plasticity, 75(2015), 141-169.

- X線回折で得た集合組織情報の離散化方法によってR値の予測結果が異なる

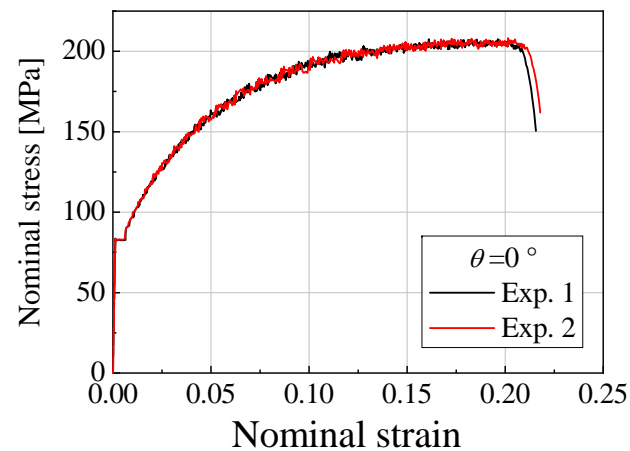
M.A.Melchior et al.: Computational Materials Science 37(2006), 557-564.

研究目的

- 結晶塑性解析を用いてR値, 降伏応力の予測
- 結晶方位の創成方法やそれらの空間配置が解析結果に与える影響を明らかにする
- 集合組織の測定方法を変え, 解析に用いる集合組織の影響を調査する

5

供試材 (A5052-O)



0.2%耐力: 83.2[MPa] 引張強さ: 208[MPa]

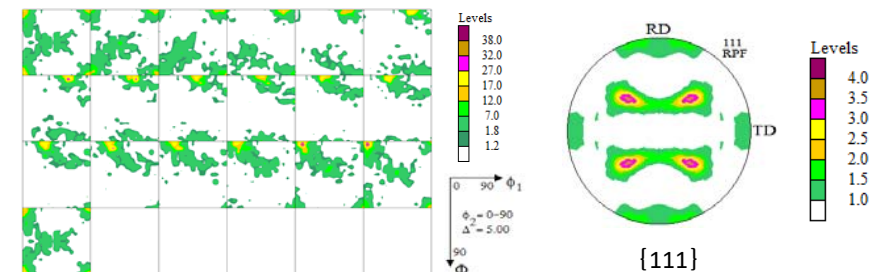
6

集合組織データ

X線回折による極密度の測定

Labotexを用いてODFを求めた

圧延板表面の測定結果



再結晶集合組織であるCube方位への配向

7

結晶塑性モデル

ひずみ速度依存型

$$\dot{\gamma}^{(\alpha)} = \dot{\gamma}_0 \text{sgn}(\tau^{(\alpha)}) \left| \frac{\tau^{(\alpha)}}{g^{(\alpha)}} \right|^{1/m}$$

すべり抵抗 $g^{(\alpha)}$ の発展式として,

$$\dot{g}^{(\alpha)} = \sum_{\beta} h |\dot{\gamma}^{(\beta)}|$$

硬化率 h は,

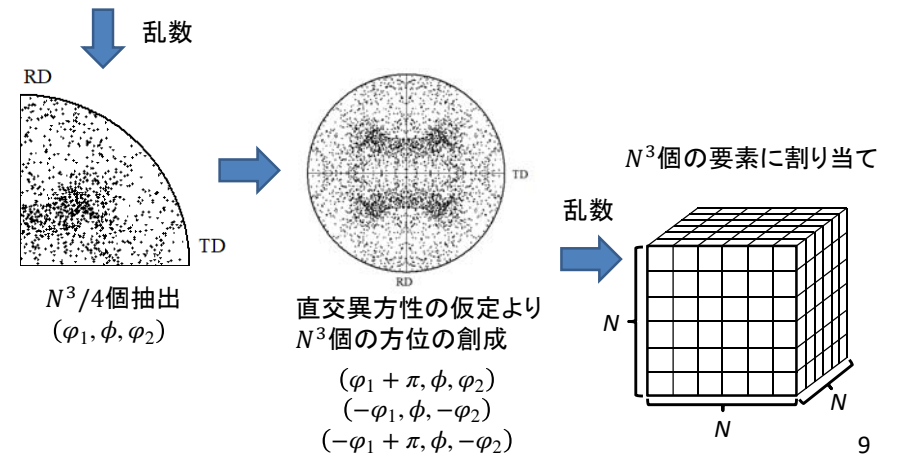
$$h = h_0 \exp\left(-\frac{h_0 \gamma_A}{\tau_{\infty} - \tau_0}\right), \quad \gamma_A = \sum_{\alpha} \int |\dot{\gamma}^{(\alpha)}| dt$$

基準すべり速度 $\dot{\gamma}_0$	0.002
ひずみ速度感受性指数 m	0.002
初期硬化係数 h_0 [MPa]	380
飽和応力 τ_{∞} [MPa]	93
初期臨界分解せん断応力 τ_0 [MPa]	29

8

N^3 個の要素からなる多結晶モデルの創成方法

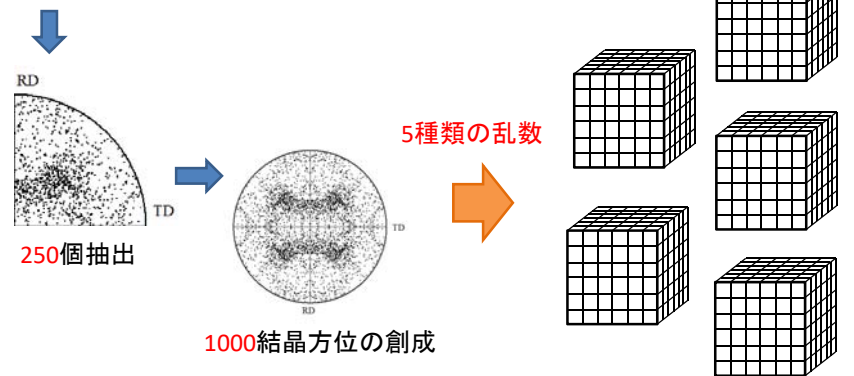
ODFから100万個の結晶方位



9

$N^3 = 10^3$ 要素の多結晶モデル

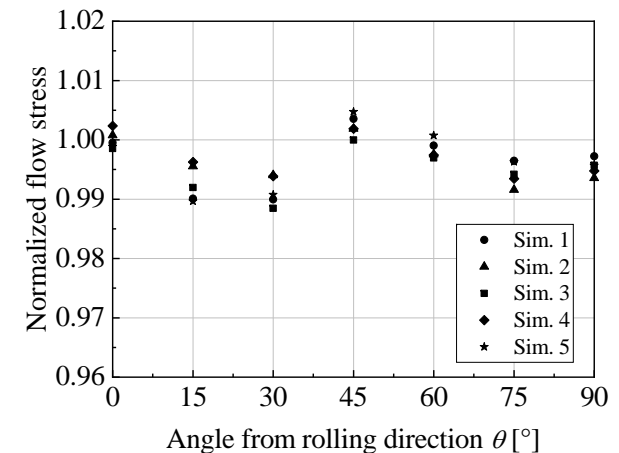
ODFから100万個の結晶方位



同一の結晶方位から空間配置が異なる5種類の多結晶モデル

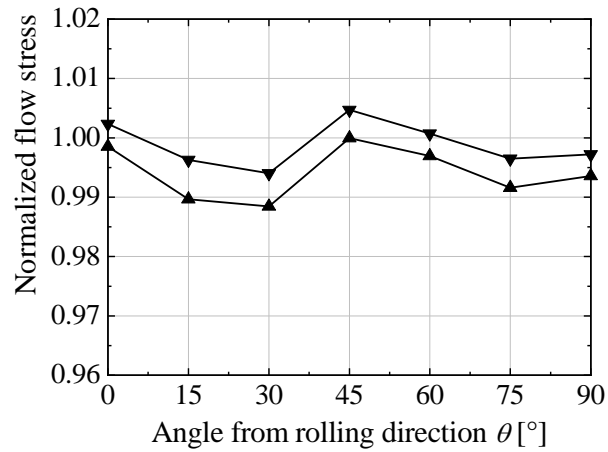
10

塑性流動応力 $\epsilon_0^p = 0.002$ $N^3 = 10^3$



11

塑性流動応力 $\varepsilon_0^p = 0.002$ $N^3 = 10^3$



最大と最小の差の平均: 0.005

12

$N^3 = 10^3$ 要素の多結晶モデル

ODFから100万個の結晶方位



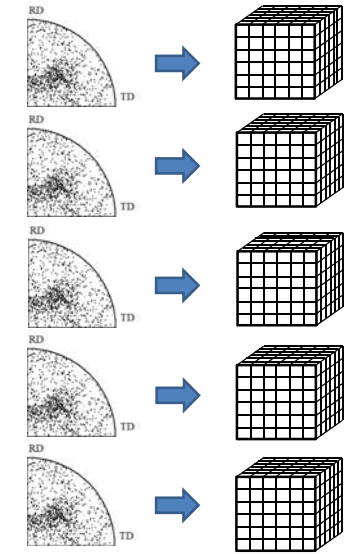
5種類の乱数

5種類の250個抽出



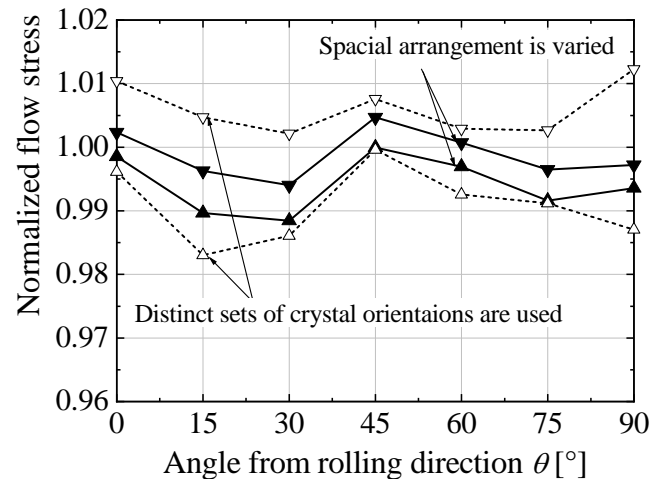
1000結晶方位の創成後

結晶方位の抜き出し方が異なる5種類の多結晶モデル



13

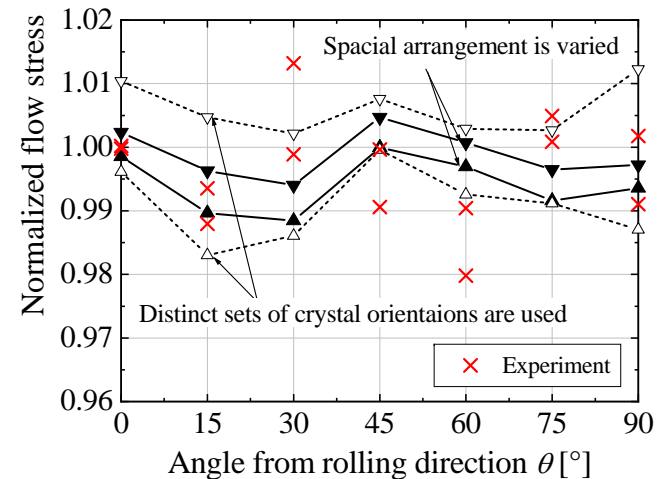
塑性流動応力 $\varepsilon_0^p = 0.002$ $N^3 = 10^3$



結晶方位の抜き出し方の影響の方が大きい

14

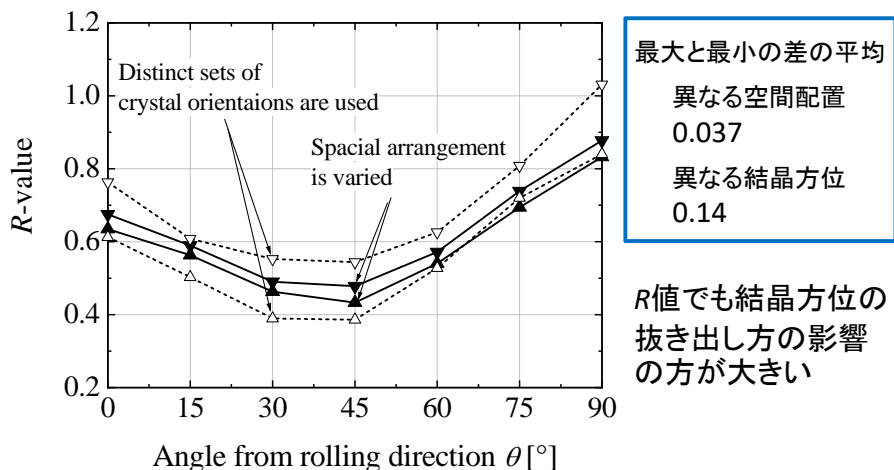
塑性流動応力 $\varepsilon_0^p = 0.002$ $N^3 = 10^3$



最大と最小の差は実験と解析で同程度

15

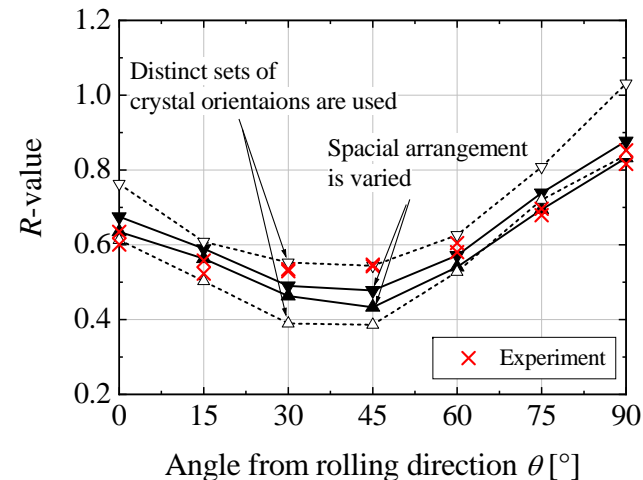
R値 $\varepsilon_0^p = 0.05$ $N^3 = 10^3$



16

Shizuoka University

R値 $\varepsilon_0^p = 0.05$ $N^3 = 10^3$



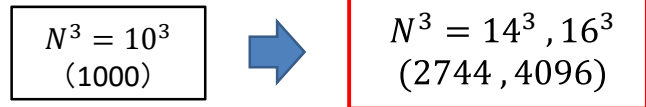
二回の実験結果の差よりも明らかに大きい

17

Shizuoka University

結晶方位の抜き出し方の影響が大きい

要素数を増やして解析



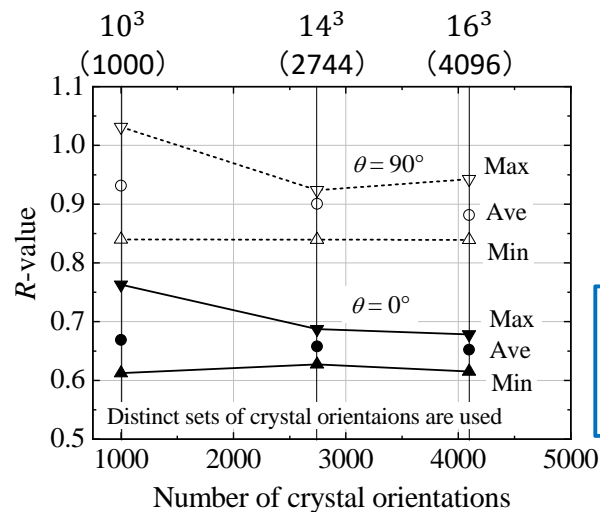
$14^3, 16^3$ 個の結晶方位の抜き出し方が異なる
それぞれ5種類の多結晶モデルの創成

⇒ $\theta = 0, 90^\circ$ の単軸引張解析

18

Shizuoka University

R値 $\varepsilon_0^p = 0.05$



10^3 から 14^3 で
40%減少

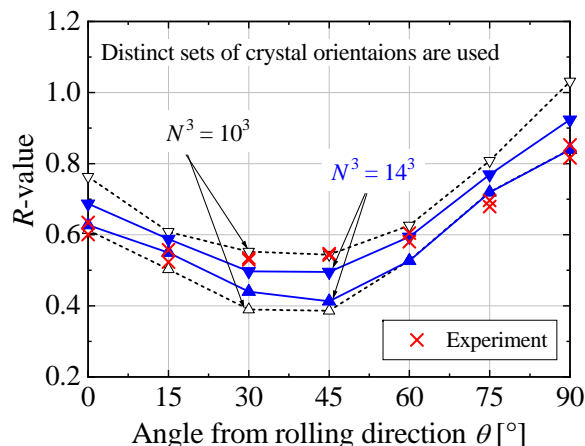
14^3 から 16^3 では
ほぼ変化がない

さらに結晶粒数を
増やすことで差を
縮めることは難しい

19

Shizuoka University

R値 $\epsilon_0^p = 0.05$ $N^3 = 10^3, 14^3$ 試行回数 : 5



最大と最小の差の平均
 $N^3 = 10^3 \Rightarrow 0.14$
 $N^3 = 14^3 \Rightarrow 0.063$

最大と最小の差の平均は半分以下に減少

解析は実験値の差より明らかに大きい

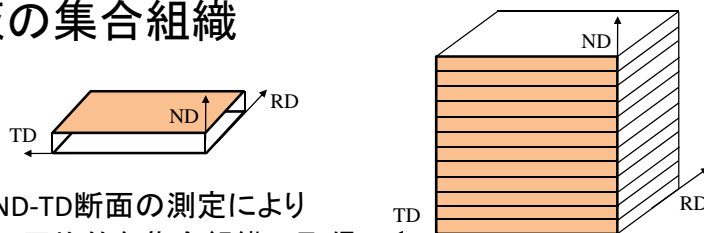
20

まとめ

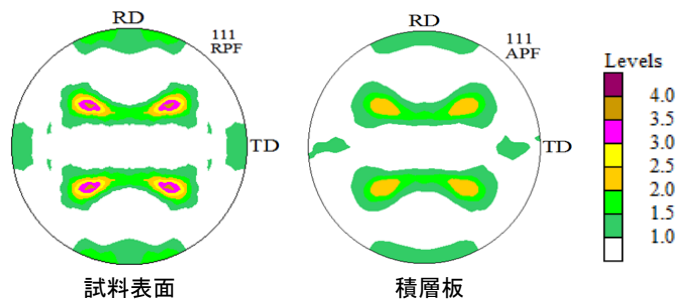
- 解析結果に与える影響は結晶方位の空間配置より結晶方位の抜き出しの方が大きい
- 塑性流動応力よりもR値に与える影響の方が大きい
- R値の最大値と最小値の差は 14^3 と 16^3 ではほぼ変化がなく、 14^3 個が適切な結晶粒数である
- 集合組織の測定方法を変え、解析に用いる集合組織の影響を調査

21

積層板の集合組織

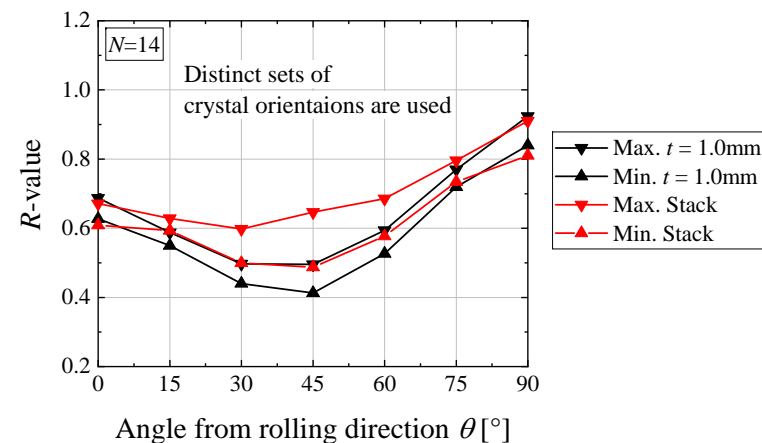


積層板のND-TD断面の測定により板厚方向の平均的な集合組織の取得



22

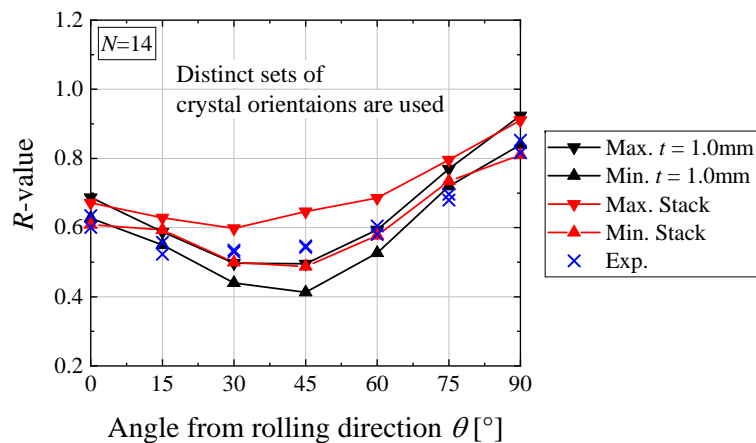
R値 $\epsilon_0^p = 0.05$ $N^3 = 14^3$ 試行回数 : 5



積層板のR値分布は $t = 1.0\text{ mm}$ の結果より高い

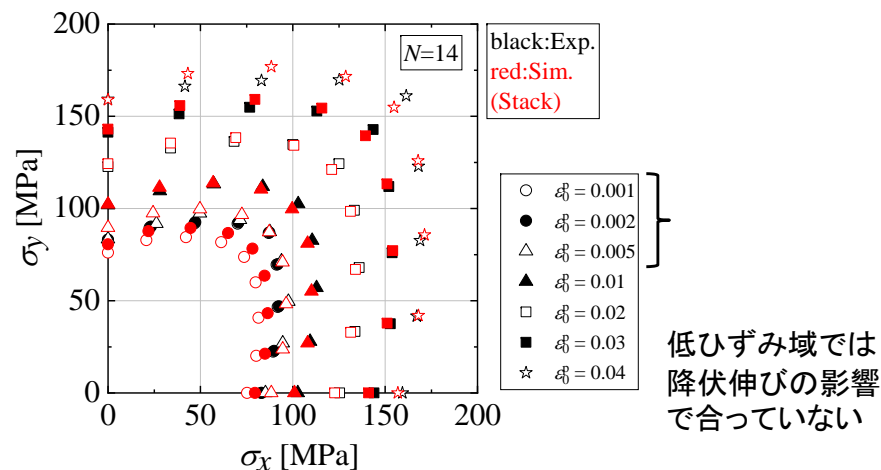
23

R値 $\varepsilon_0^p = 0.05$ $N^3 = 14^3$ 試行回数 : 5



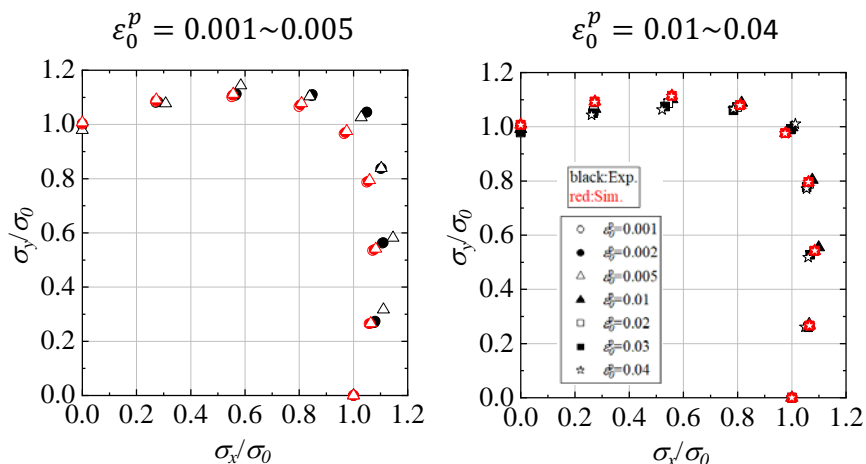
板厚方向依存性を考慮することで実験値に近いR値分布が得られた
24

等塑性仕事点 $N^3 = 14^3$



25

無次元化等塑性仕事点 $N^3 = 14^3$



ひずみが1%以上の範囲でおおよそ一致している

26

結論

- R値に与える影響は結晶方位の空間配置より結晶方位の抜き出しの方が大きい。
- 結晶粒数を増やすことで解析値のばらつきを減らすことは現実的な範囲では限度がある。
- 供試材は集合組織の板厚方向依存性を有しており板厚方向に平均的な集合組織を用いた解析より、実験値に近いR値分布を予測できた。
- 二軸引張解析による等塑性仕事点は実験値とおおよそ一致していた。

27