

固体力学研究40年余：
クリープ損傷力学から均質化法へ

名古屋大学 大学院工学研究科
計算理工学専攻・機械理工学専攻

大野 信忠



最終講義の内容

1. 略歴
2. 副題「クリープ損傷力学から均質化法へ」の説明
3. 主な研究成果
4. 国際交流・活動の思い出
5. 退職後について
6. 謝辞

略 歴

誕生日 1950年9月17日

学 歴 **名古屋大学** 工学部 機械学科 卒業(1973.3)

同上 大学院工学研究科 博士課程後期課程 機械工学専攻
単位取得退学(1978.3)

工学博士(1979.10)

職 歴 **名古屋大学** 助手(1978.4)

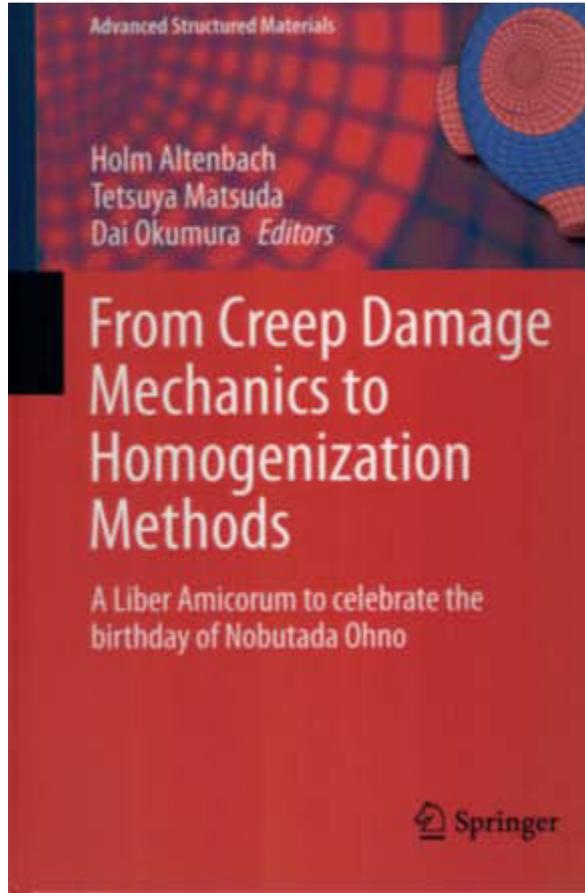
豊橋技術科学大学 助手(1980.9)

ハーバード大学 客員研究員(1982.4～1983.3)

豊橋技術科学大学 講師(1983.4), 助教授(1984.4)

名古屋大学 助教授(1988.4), 教授(1994.4～現在)

副題の説明：65歳記念書籍



From Creep Damage Mechanics to Homogenization Methods

A Liber Amicorum to celebrate
the birthday of Nobutada Ohno

編者：H. Altenbach, T. Matsuda,
D. Okumura

27編の論文からなる約600ページ
の書籍 (Springer, 2015)

Prefaceでの主要研究業績の紹介

1. Continuum theory of anisotropic creep damage

クリープ損傷テンソルの提示. 異方損傷力学の先駆的研究.

2. Non-hardening region in cyclic plasticity

逆負荷での非硬化領域の提案. Yoshida-Uemori model を介してスプリングバック解析に貢献.

3. Kinematic hardening model for ratcheting

ラチェット変形用の塑性構成式の開発. 国内外の多くの研究者が使用.

4. Homogenization method for time-dependent composites

時間依存変形を考慮した均質化法の構築. 複合材料への適用.

Prefaceでの主要研究業績の紹介(つづき)

5. **Homogenization analysis** of cellular material instability
大変形の均質化法の構築. セル状固体の座屈解析への適用.
6. **Strain gradient plasticity** based on the self-energy of GNDs
転位の自由エネルギーを考慮した塑性理論の構築.
塑性勾配理論への物理的意味付け.
7. **Implementation of cyclic (visco)plastic models** in FEMs
陰解法FEM用の弾(粘)塑性構成式サブルーチンの開発.
約10機関で使用.

主要な研究業績(その1)

1. Continuum theory of anisotropic creep damage

クリープ損傷テンソルの提案. 異方損傷力学の先駆的研究.
ドクターコースでの研究.

- Murakami, Ohno. *Proc. Creep in Structures, Leicester, England, 1980*. Springer (1981).

被引用回数 413 (Google Sch.)

学部4年～修士課程のころ(1/2)

□ 最初の論文(卒業論文)

村上, 大野. 内圧を受ける厚肉円筒の有限クリープ変形. 機論(1974)
日本機械学会賞 論文賞(1976年度)

Int J Solids Struct (1974) に掲載. 被引用回数 3 (Web Sci.)

□ 村上先生との会話(修士1年のとき)

M: ドクターコースに行きませんか?

O: 行ってみたいです.

M: 機論(1974)の内容を実験で検証してみましよう.

O: はい. (⇒ 実験装置を試作したが, 魅力を感じず.)

O: **先生! 教科書に載るような研究をしましよう!**

M:

学部4年～修士課程のころ(2/2)

□ 固体力学の勉強(学部4年のときから)

固体の力学／理論(Y.C. Fung, 訳:大橋・村上・神谷)

Theoretical Elasticity (A.E. Green, W. Zerna)

欧米の論文(大変形, 構成式, 熱力学的制約など)

□ 修士論文(1975.2)

「有限クリープ変形の構成式とその二, 三の応用」

□ 2つめの論文

村上, 大野. 「初期等方物質・・・有限非弾性変形・・・」機論(1977)

$F = F_e F_p$ (Lee, 1969) で微小弾性ひずみ・大回転の場合

Int J Solids Struct に投稿 → **Reject**

クリープ損傷力学の研究(1/2)

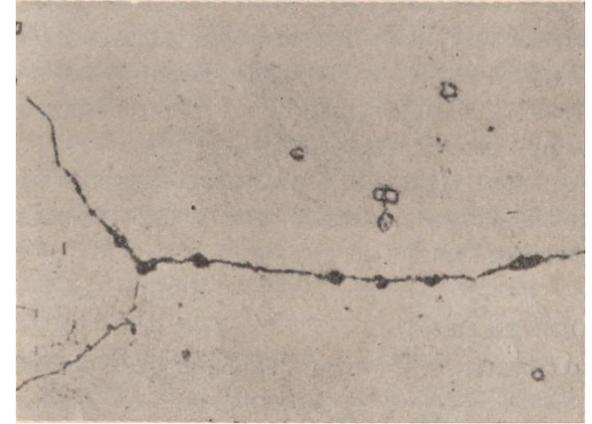
クリープにおける微視的き裂とボイドは、
負荷応力に垂直な粒界に主に発生 [1,2]



クリープ損傷の方向性



2階対称の損傷テンソル
(テンソル関数の理論を使用)



Nimonic 80A の粒界上の
r形ボイド (Weaver, 1959-60)

村上, 大野. 機論A編(1979a,b)

J Mech Phys Solids に投稿 → **Reject**

博士論文「損傷を伴う有限クリープの構成式とその応用」(1979.10)

[1] Garofalo F. Fundamentals of Creep and Creep Rupture. Macmillan (1965)

[2] Tetelman AS, McEvily AJ, Jr. Fracture of Structural Materials. Wiley (1967)

クリープ損傷力学の研究 (2/2)

粒界での微視的空隙による
有効断面積の減少

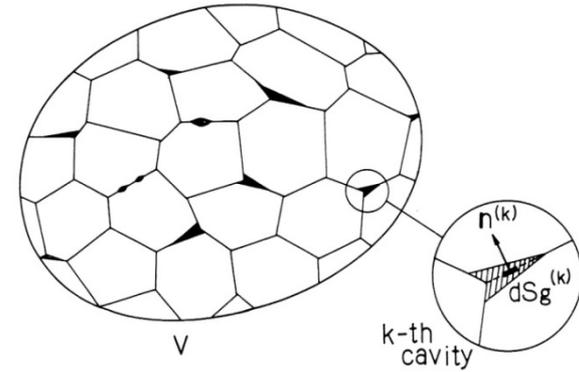


2階対称損傷テンソル Ω を示し、
仮想配置を合理的に導入

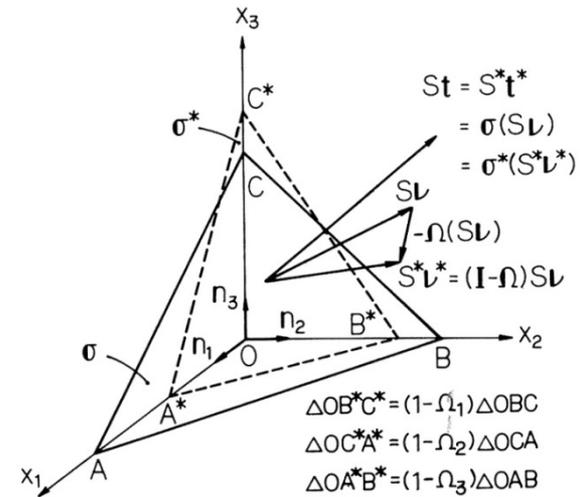


実質応力 σ^* の理論的導出
 $\sigma^* = \sigma\Phi, \Phi = (\mathbf{I} - \Omega)^{-1}$

Murakami, Ohno. *Proc. 3rd IUTAM
Symposium on Creep in
Structures,*
Leicester, 1980. Springer (1981)



$$\Omega = \frac{1}{S_g(V)/3} \sum_{k=1}^N \int_V \mathbf{n}^{(k)} \otimes \mathbf{n}^{(k)} dS_g^{(k)}$$



実配置OABCと仮想配置OA*B*C*

クリープ損傷力学の研究(その後)

□ Murakami, Ohno. *Proc. Creep in Structures* (1981)
被引用回数 413 (Google Sch.)

□ Murakami. *J Eng Mater Tech* (1983)
被引用回数 221 (Google Sch.), 134 (Web Sci.)

□ Murakami. *J Appl Mech* (1988)
被引用回数 433 (Google Sch.), 222 (Web Sci.)

□ 村上. 連続体損傷力学. 森北出版 (2008)

□ Murakami. *Continuum Damage Mechanics*. Springer (2012)



紹介・引用された本
(村上先生の最終講義, 2000)

主要な研究業績(その2)

2. Non-hardening region in cyclic plasticity

逆負荷での非硬化領域の提案. Yoshida-Uemori model (2002)を介してスプリングバック解析に貢献.

- Ohno. *J Appl Mech* (1982)
被引用回数 222 (Google Scho.), 163 (Web Sci.)
- Ohno, Kachi. *J Appl Mech* (1986)
被引用回数 112 (Google Scho.), 58 (Web Sci.)

繰返し硬化のひずみ範囲依存性

Chaboche et al, *Proc. SMiRT* (1979)

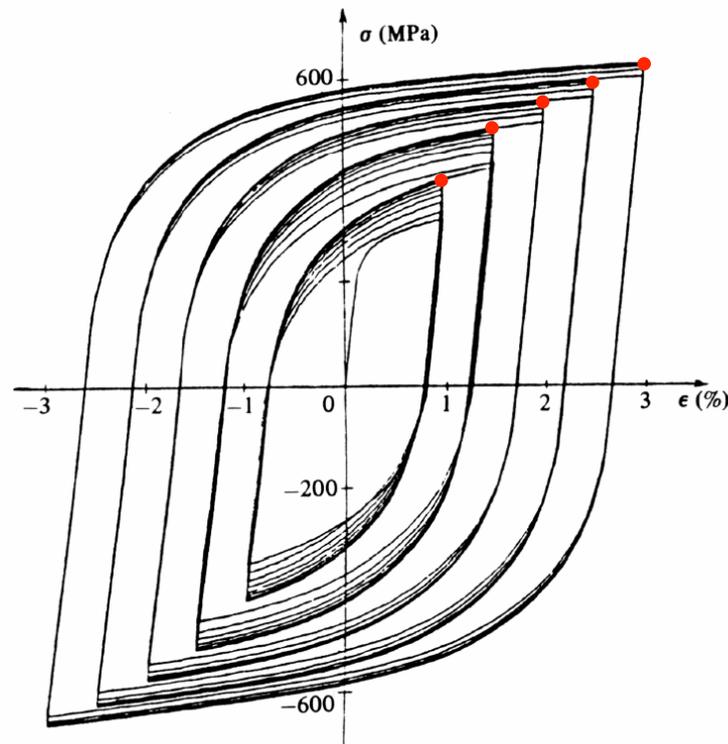
最大, 最小塑性ひずみの
記憶曲面:

$$g = \frac{2}{3} \|\boldsymbol{\varepsilon}^p - \boldsymbol{\beta}\|^2 - \rho^2 = 0$$

等方硬化の発展式:

$$\dot{R} = C_R [R_s(\rho) - R] \dot{\rho}$$

繰返し硬化の塑性ひずみ範囲依存性を表現する材料関数



316Lステンレス鋼(室温)

非硬化ひずみ領域 (Ohno, *J Appl Mech* 1982)

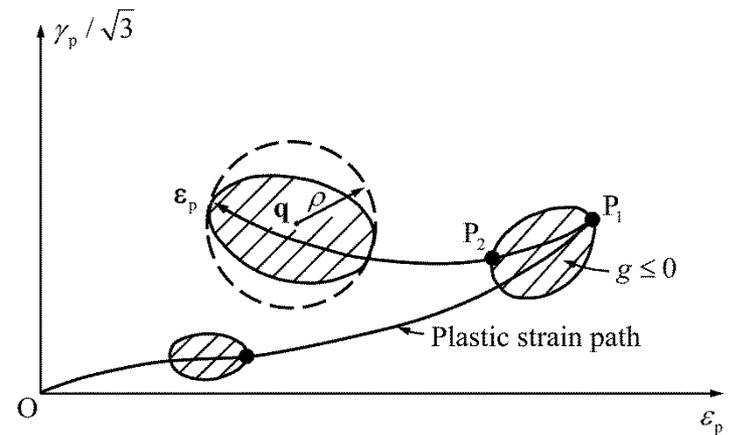
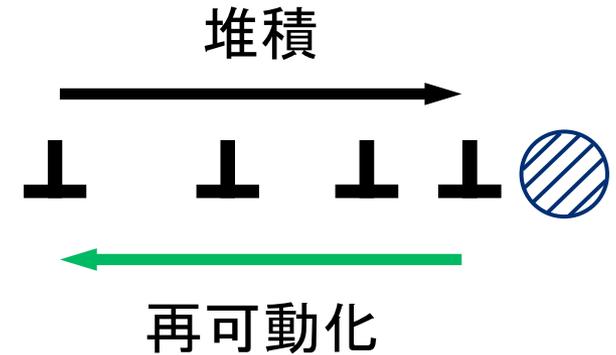
- 負荷方向の反転によって堆積転位の再可動化

- 負荷方向の反転後, しばらくの間

- 転位密度は増えない
- 等方硬化は進展しない
- 移動硬化は促進される

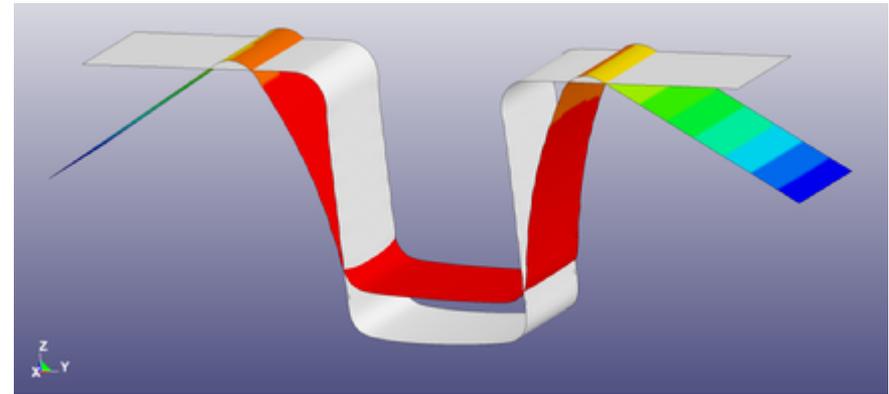
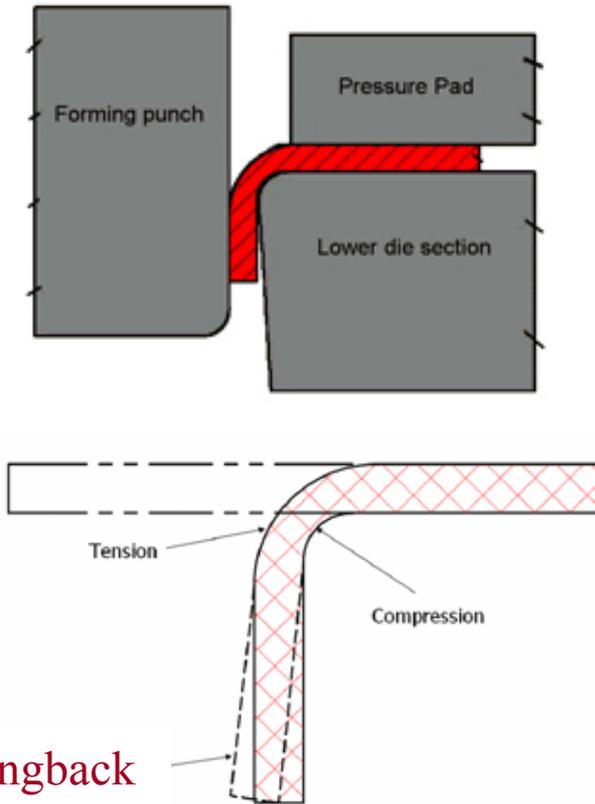
- 等方硬化が進展しない塑性ひずみ領域(非硬化領域) $g \leq 0$ の提案

- Chabocheら(1979)の記憶曲面の拡張



非硬化領域 $g \leq 0$ の発達

スプリングバック



<https://www.utwente.nl/ctw/tm/research/projects/SMASH/>

自動車産業等ではスプリングバックを考慮した高精度な解析が必要とされる

<http://www.thefabricator.com/article/stamping/die-basics-101-part-xv>

スプリングバック解析用塑性モデル

Yoshida, Uemori. *Int J Plast* (2002)

- バウシinger効果

二曲面モデル(降伏面 + 限界面)

Krieg (1975)

Dafalias, Popov (1975, 1976)

- 逆負荷での加工硬化の停滞

非硬化領域(応力空間)

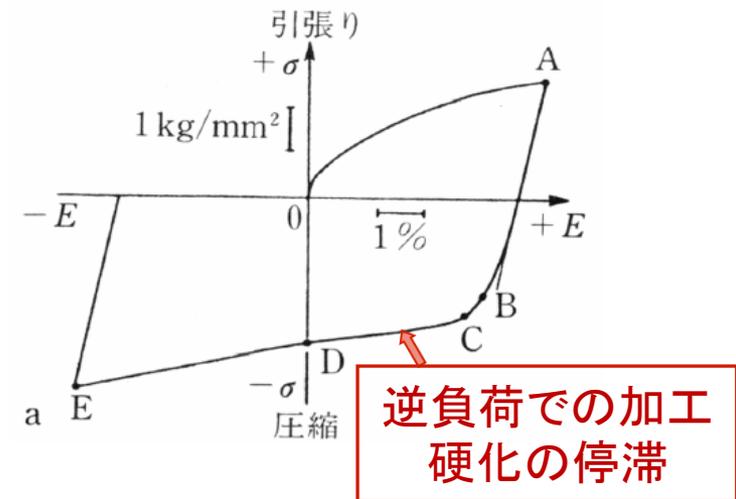
Ohno (1982)

- ヤング率の塑性ひずみ依存性

Morestin, Boivin (1995)

- 塑性異方性

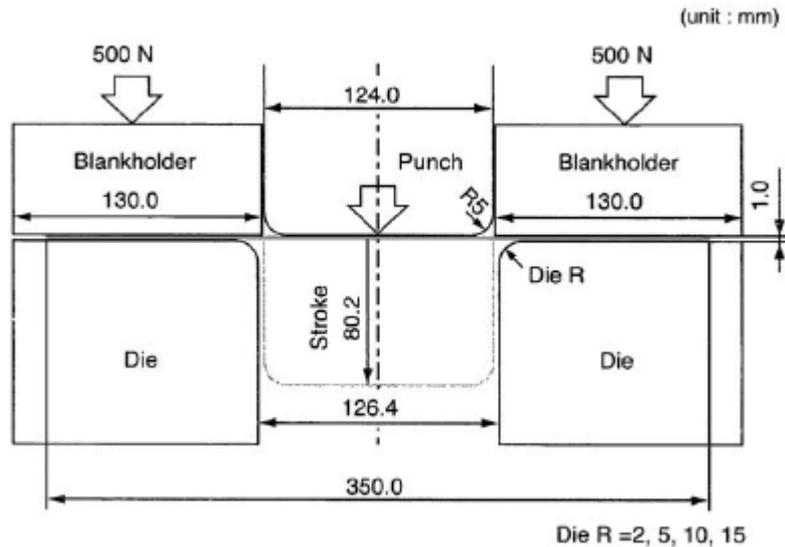
Hill (1948, 1990)



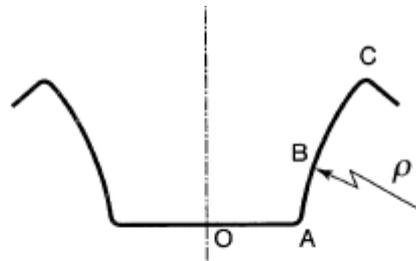
Hasegawa, Yakou, Karashima が最初に報告 (*Mater Sci Eng*, 1975)

スプリングバックの解析例

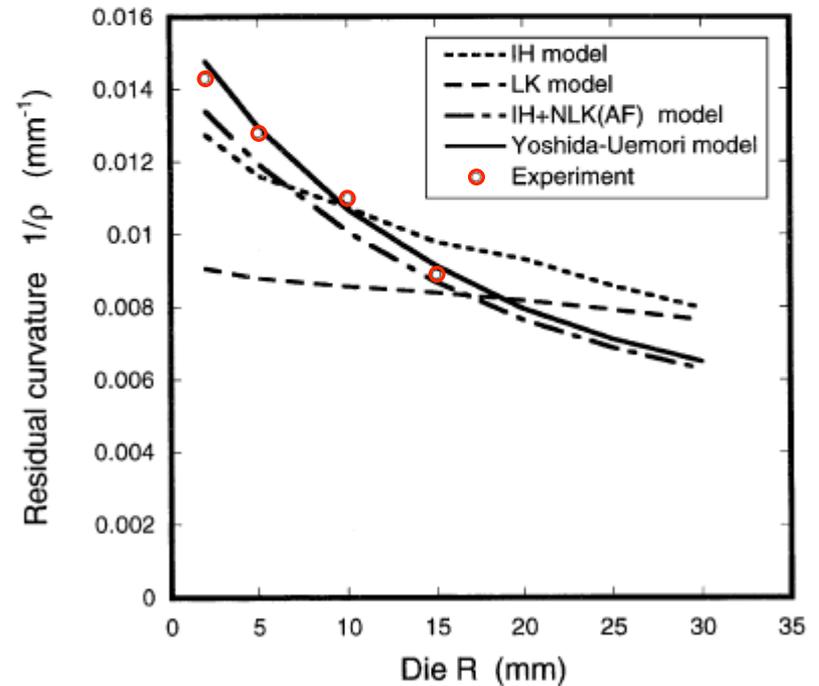
Yoshida, Uemori. *Int J Mech Sci* (2003)



高張力鋼板のプレス成形

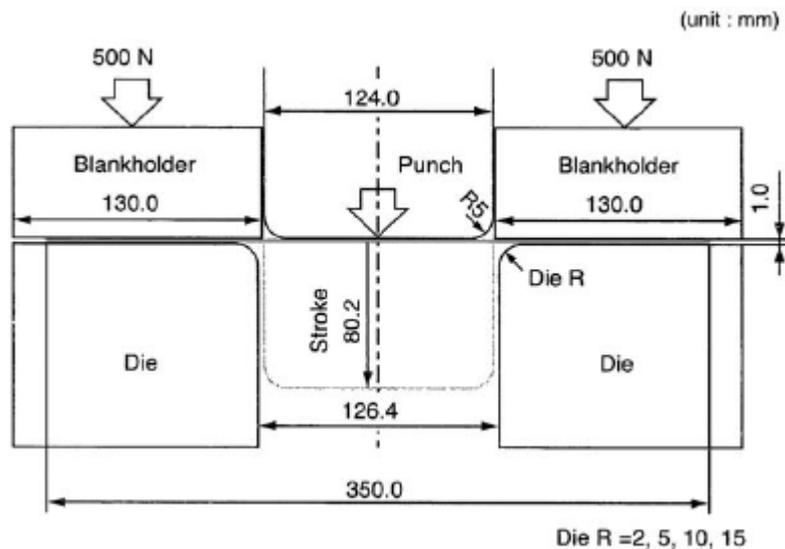


スプリングバック後の形状

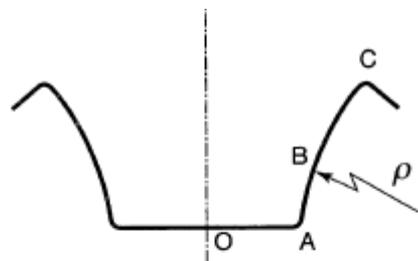


Y-Uモデルは、スプリングバックを高精度で予測

スプリングバックの解析例



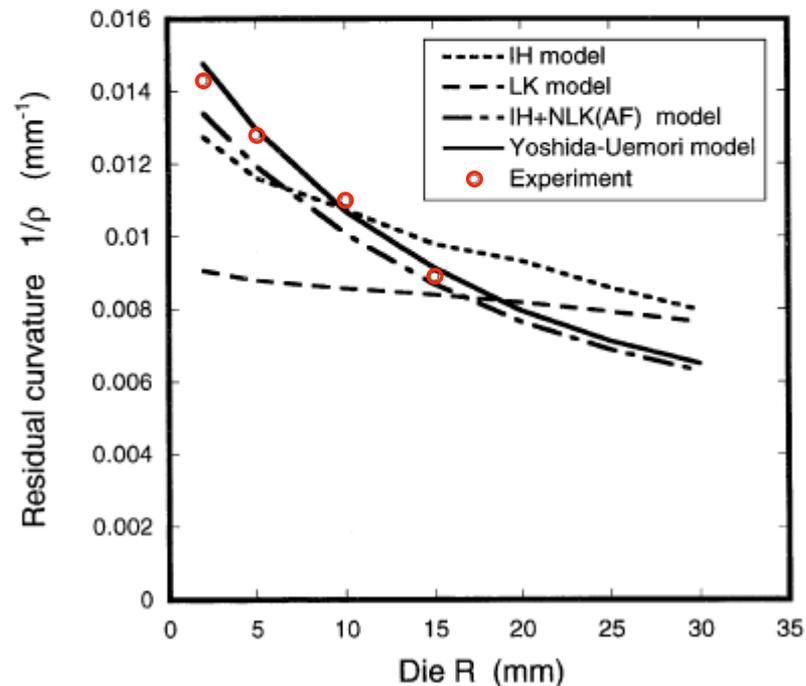
高張力鋼板のプレス成形



ρ : Side-wall curl

スプリングバック後の形状

Yoshida, Uemori. *Int J Mech Sci* (2003)



Y-Uモデルは、LS-DYNAとPAM STAMPに2007年から正式採用

Ohno (1982)は、Y-Uモデルを介してスプリングバック解析に貢献

名古屋大学に異動(1988年)

□ 神谷紀生先生からの電話(1987年2月)

K: 業績リストを送って下さい.

O: 郵送します. よろしく申し上げます.

□ 神谷紀生先生からの励まし(1988年4月)

K: 損傷力学の研究は行わないで下さい.

O: 興味ありませんので, 行いません.

K: **これが, あなたの業績リストです. こちらは, ○○○○先生の業績リストです. 頑張ってください.**

O: 頑張ります.

Prefaceでの主要研究業績の紹介

1. Continuum theory of anisotropic creep damage

クリープ損傷テンソルの提示. 異方損傷力学の先駆的研究.

2. Non-hardening region in cyclic plasticity

逆負荷での非硬化領域の提案. Yoshida-Uemori model を介して
スプリングバック解析に貢献.

名大に異動(1988): 学術誌論文30編

3. Kinematic hardening model for ratcheting

ラチェット変形用の塑性構成式の開発. 国内外の多くの研究者が
使用.

4. Homogenization method for time-dependent composites

時間依存変形を考慮した均質化法の構築. 複合材料への適用.

Prefaceでの主要研究業績の紹介

1. Continuum theory of anisotropic creep damage

クリープ損傷テンソルの提示. 異方損傷力学の先駆的研究.

2. Non-hardening region in cyclic plasticity

逆負荷での非硬化領域の提案. Yoshida-Uemori model を介して
スプリングバック解析に貢献.

名大に異動(1988): 学術誌論文30編

3. Kinematic hardening model for ratcheting

ラチェット変形用の塑性構成式の開発. 国内外の多くの研究者が
使用.

教授に昇任(1994): 学術誌論文56編

4. Homogenization method for time-dependent composites

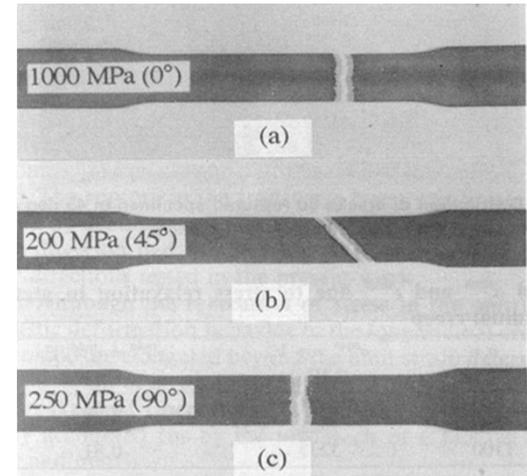
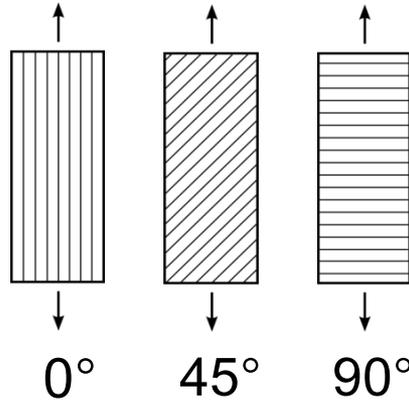
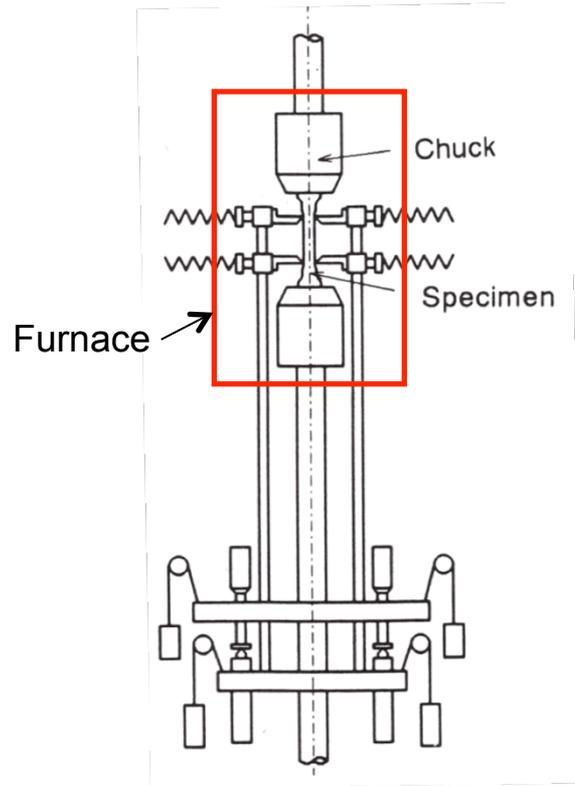
時間依存変形を考慮した均質化法の構築. 複合材料への適用.

一方向SiC_{CVD}/Ti-15-3のクリープ試験

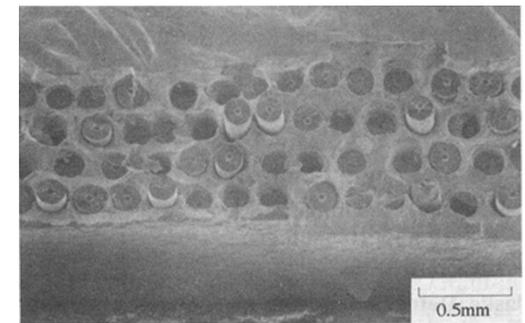
Ohno et al. *J Eng Mater Tech* (1994)

試験片：一方向SiC_{CVD}/Ti-15-3
0°, 45°, 90° (IHI提供材)

温度：450°C



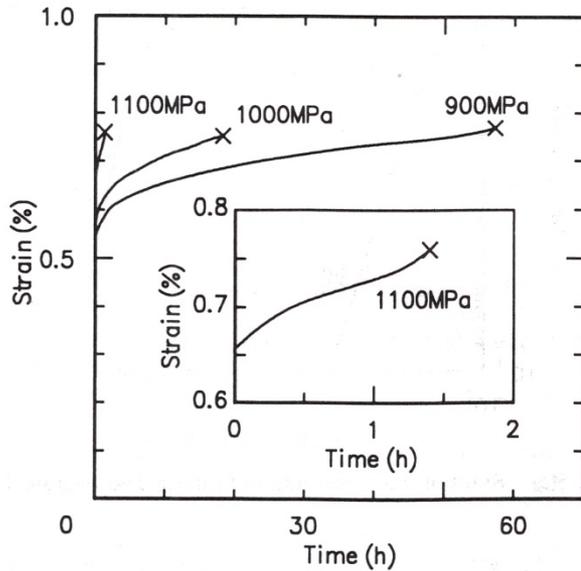
試験片(クリープ破断後)



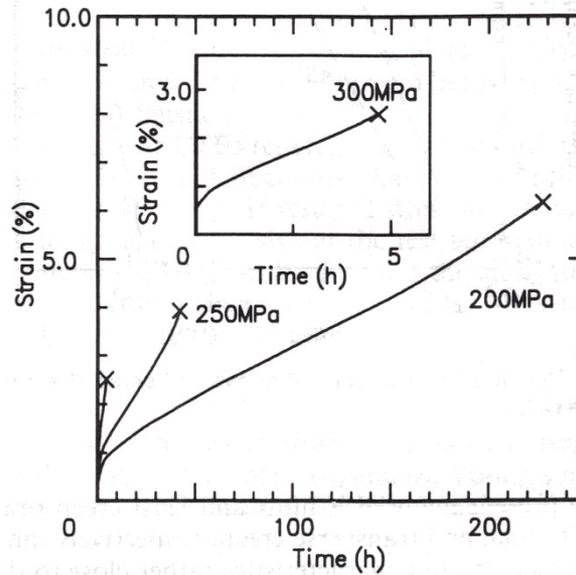
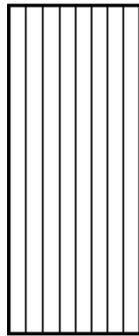
クリープ破断面(0°材)

一方向SiC_{CVD}/Ti-15-3のクリープ曲線(450°C)

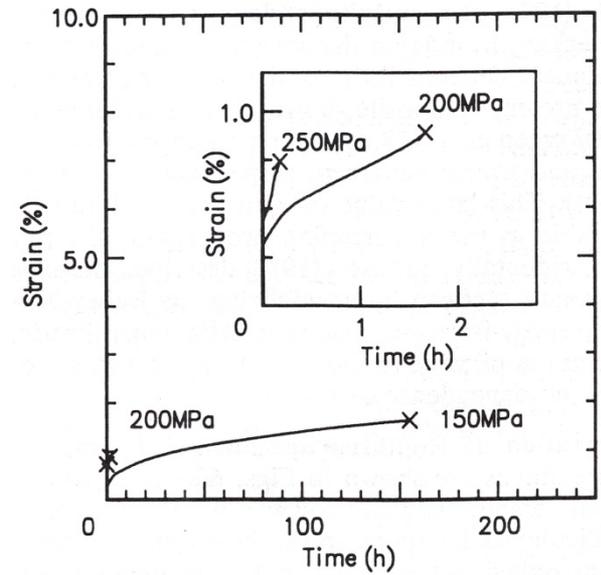
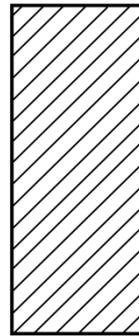
Ohno et al. *J Eng Mater Tech* (1994)



0°



45°



90°



一方向SiC_{CVD}/Ti-15-3のクリープ: その後の展開(1/2)

- Ohno, Miyake. *Int J Plast* (1999)

Ohno, Ando, Miyake, Biwa. *Int J Solid Struct* (2002)

一方向SiC_{CVD}/Ti-15-3(0°材)のクリープ破断シミュレーション

SiC_{CVD}の引張強度(ワイブル分布)とTi-15-3のクリープ特性を考慮

- Miyake, Yamakawa, Ohno. *J Mater Sci* (1998)

Miyake, Kokawa, Ohno, Biwa. *J Mater Sci* (2001)

エポキシ樹脂中に炭素繊維1本を埋め込み, 引張負荷で破断.

破断繊維内の応力分布変化をレーザーラマン分光法で測定

一方向SiC_{CVD}/Ti-15-3のクリープ: その後の展開(2/2)

- Wu, Ohno. *Int J Solids Struct* (1999)

Ohno, Wu, Matsuda. *Int J Mech Sci* (2000)

時間依存複合材料の均質化法の構築

一方向連続繊維強化MMCのクリープ, 引張変形に適用

- Ohno, Okabe, Okabe. *Int J Solids Struct* (2004)

Okabe, Ohno, Okabe. *J Solid Mech Mater Eng* (2007)

一方向連続繊維強化材内の破断繊維近傍部の応力解析

シアラグ理論で母材の降伏と界面すべりを考慮して閉形解を導出

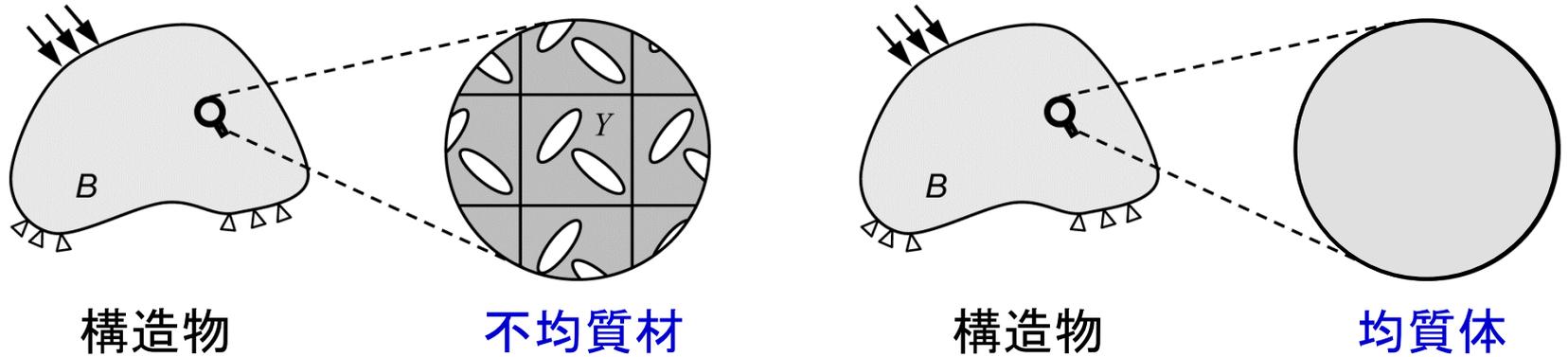
主要な研究業績(その4)

4. Homogenization method for time-dependent composites

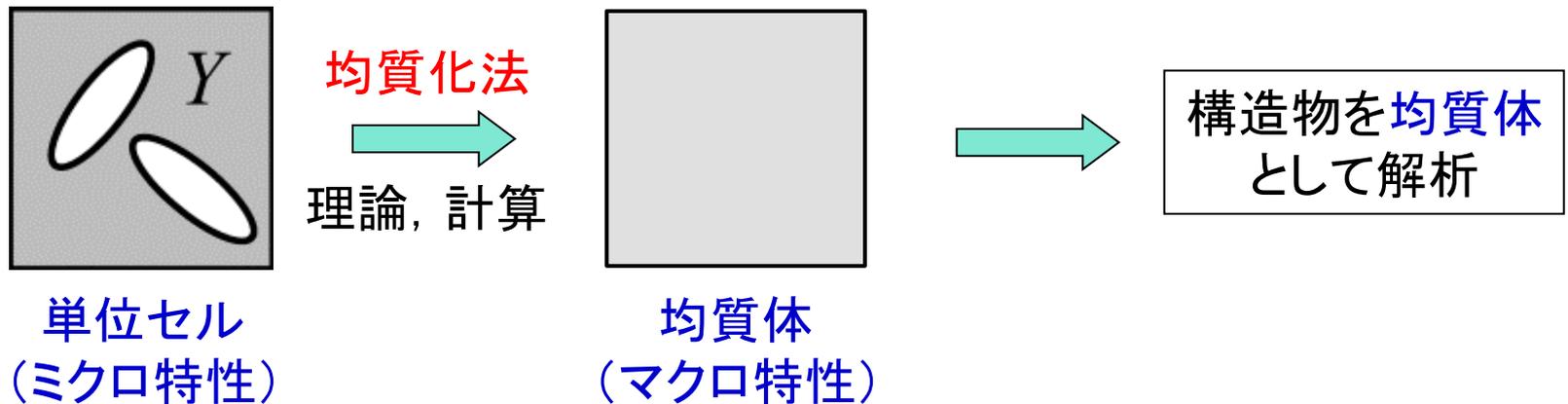
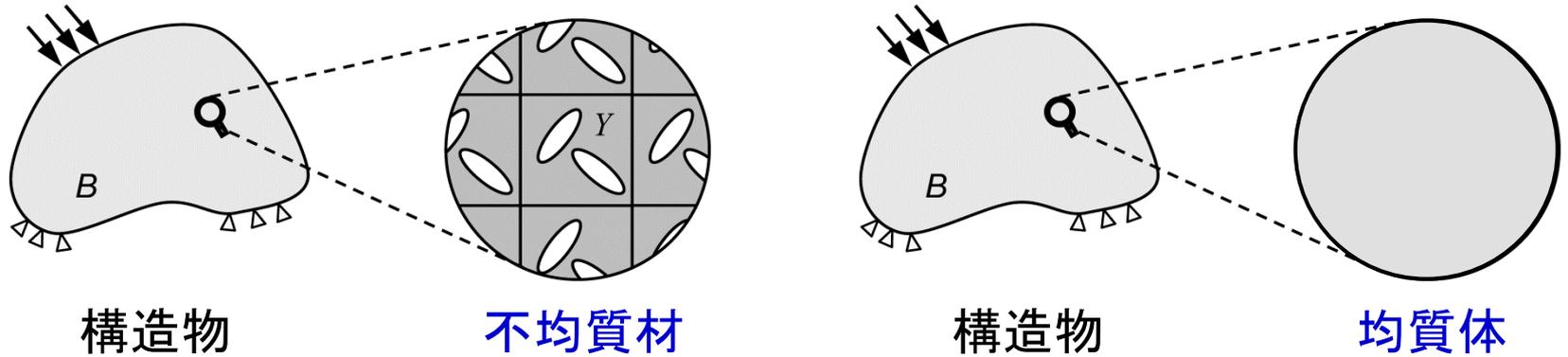
時間依存変形を考慮した均質化法の構築. 複合材料への適用.

- Wu, Ohno. *Int J Solids Struct* (1999)
被引用回数 77 (Google Sch), 56 (Web Sci)
- Ohno, Wu, Matsuda. *Int J Mech Sci* (2000)
被引用回数 91 (Google Sch), 51 (Web Sci)

均質化(法)とは



均質化(法)とは



均質化法の研究を1995年に開始

■ 主な先行研究

- 変位の漸近展開による方法 (1980年前後, 応用数学者)
Bensoussan et al. (1978), Sanchez-Palencia (1980), etc
- Hill-Mandelの巨視的均質化条件に基づく方法
Suque (1987)
- 有限要素法による均質化法 (計算均質化法)
Guedes, Kikuchi (1990)

■ 国内の状況

- 30歳台前半の若手研究者の活躍: 寺田先生, 高野先生, 岡田先生

■ 呉さん(助手)から提案 → 文献調査

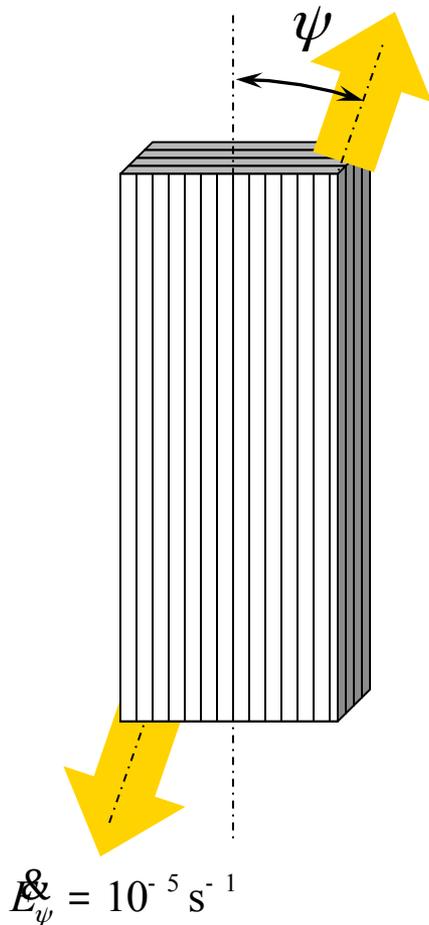
- 時間依存変形の均質化法は見当たらず → 研究開始 (1995)
Wu, Ohno. *IJSS* (1999), Ohno, Wu, Matsuda. *IJMS* (2000)

CFRP積層板の面内弾-粘塑性変形解析

Matsuda, et al. *JSME Int J* (2002)

Matsuda, et al. *Int J Mech Sci* (2003)

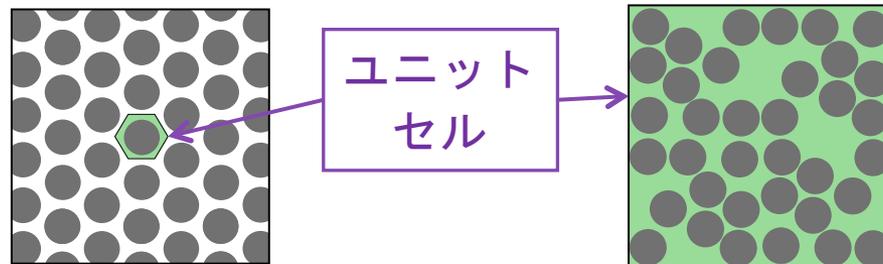
◆ 負荷条件



◆ 積層構成

- | | |
|----------|--------------------------------|
| ■ 一方向 | [0] |
| ■ クロスプライ | [0/90] _s |
| ■ 擬似等方 | [0/ \bar{a} 60] _s |

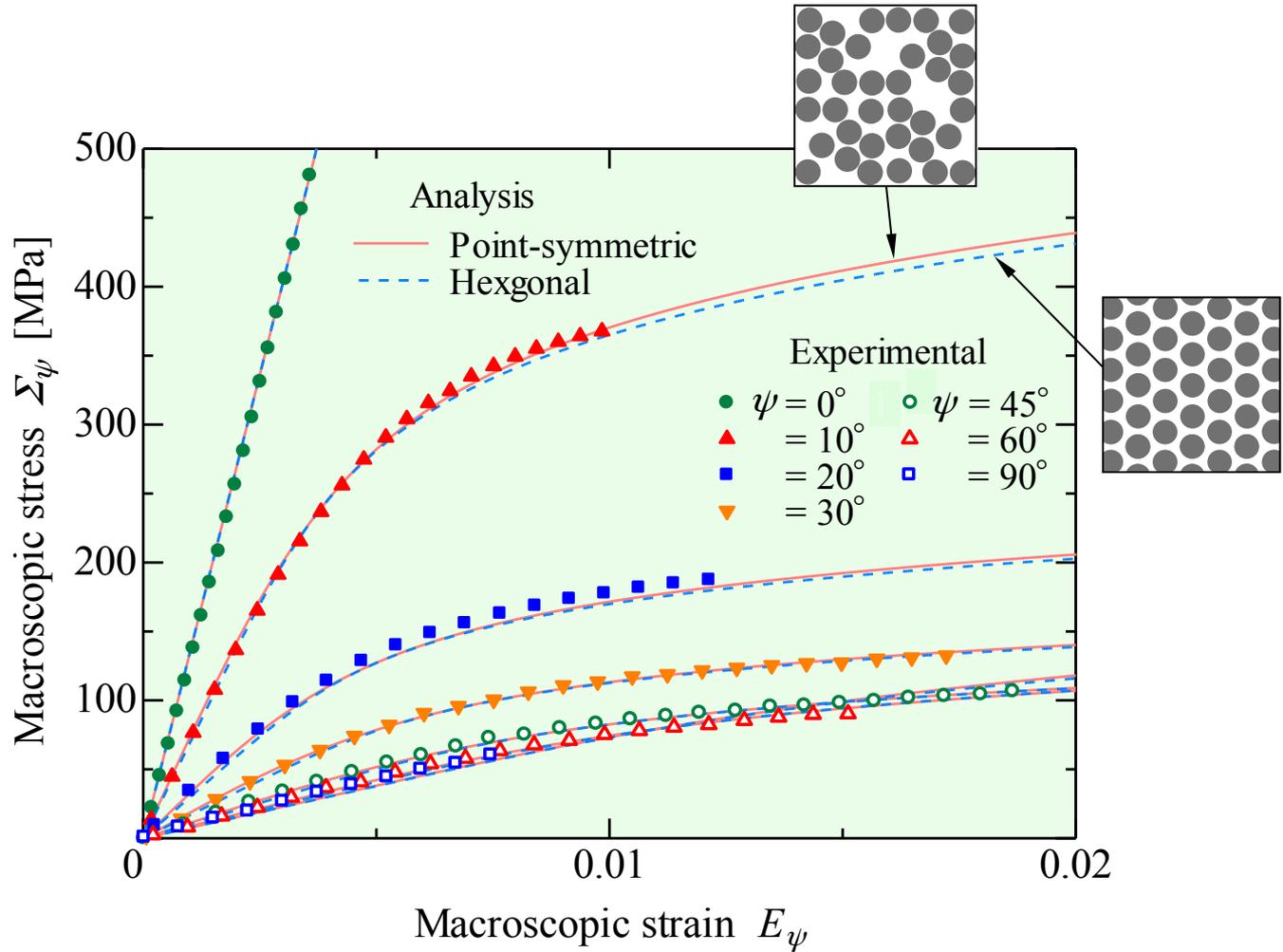
◆ ラミナ内の繊維配列 ($V_f=56\%$)



規則繊維配列

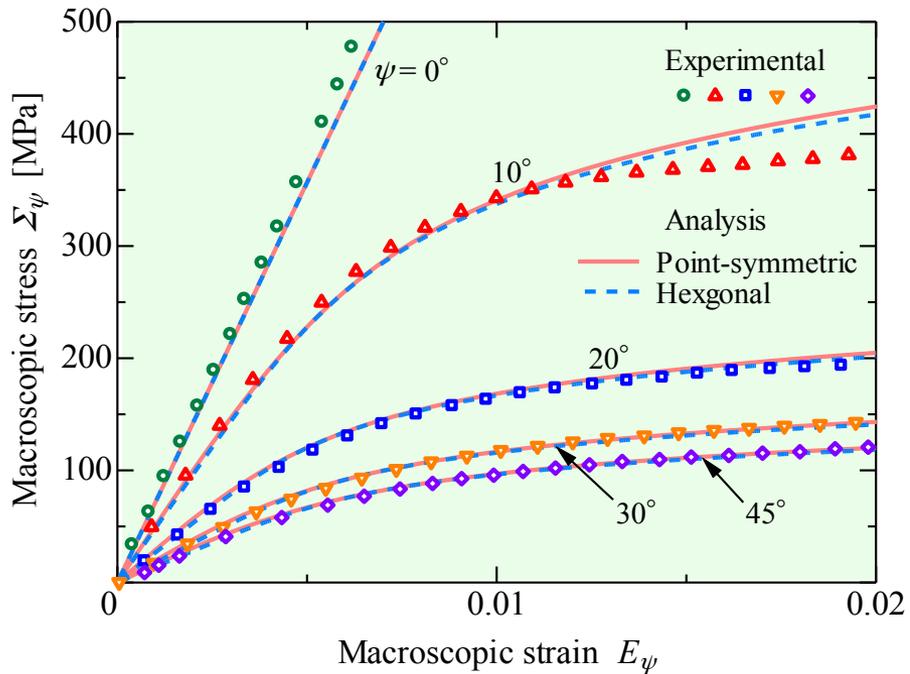
不規則繊維配列
(点対称性あり)

解析結果 (I : 一方向積層板)

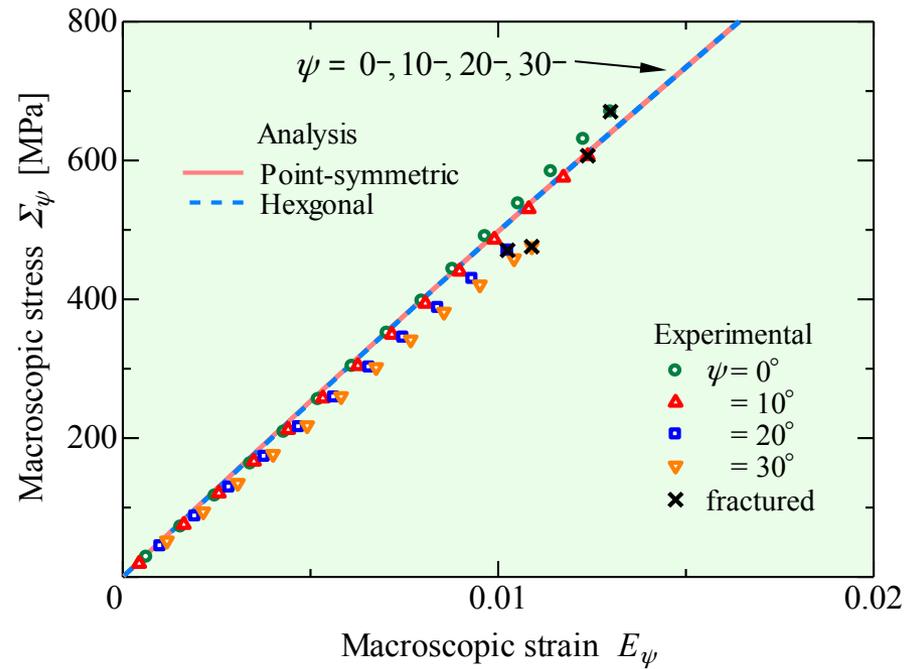


(a) 一方向積層板

解析結果(Ⅱ:クロスプライ・擬似等方積層板)



(b) クロスプライ積層板



(c) 擬似等方積層板

主要な研究業績(その5)

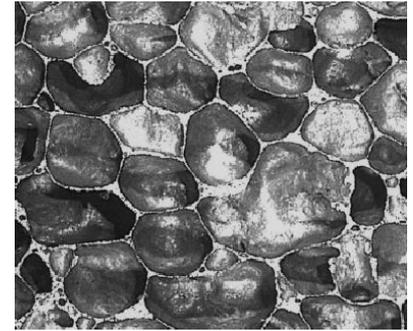
5. Homogenization analysis of cellular material instability

大変形の均質化法の構築. セル状固体の座屈解析への適用.

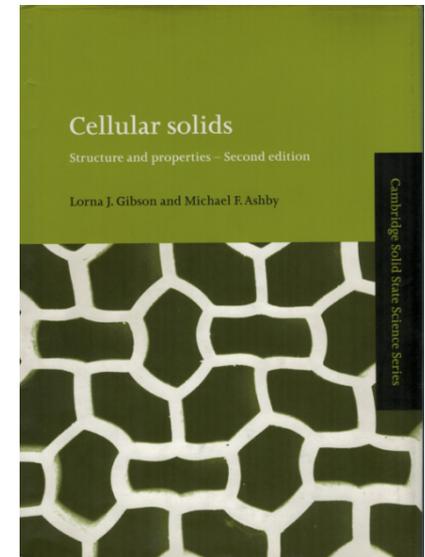
- Ohno, Okumura, Noguchi. *J Mech Phys Solids* (2002)
被引用回数 154 (Google Sch.), 107 (Web Sci.)
- Okumura, Ohno, Noguchi. *J Mech Phys Solids* (2004)
被引用回数 78 (Google Sch.), 54 (Web Sci.)

1998年頃の状況

- セル状固体(ハニカム, 発泡体)への注目
 - ・ 軽量, 高比剛性, 高比強度
 - ・ Gibson-Ashbyの教科書(1988, 1997)
- 奥村君が後期課程への進学を希望
- 大変形の均質化法(機論)に疑問点
- ハニカムの面内座屈モードへの関心(寺田先生のグループが少し先行)
- ハニカムの花状座屈モードの文献をいち早く入手(1999)



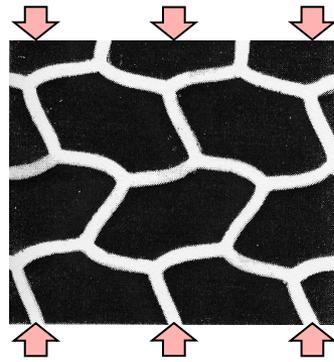
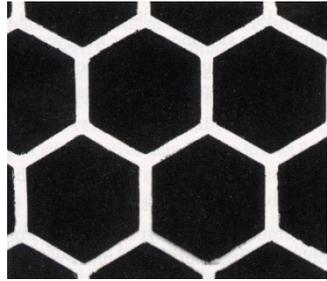
Al foam



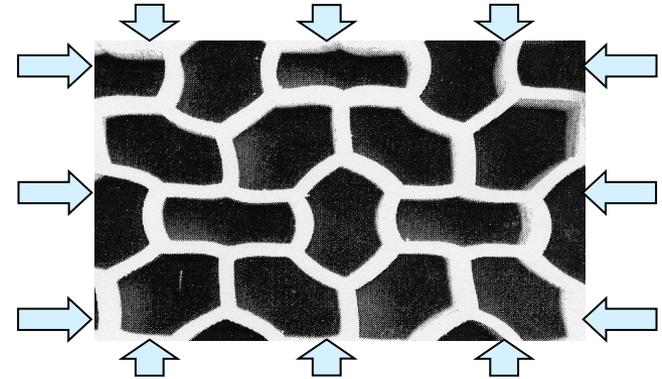
Gibson-Ashby(1997)

面内圧縮を受けるハニカムの座屈モード

Gibson and Ashby (1989)

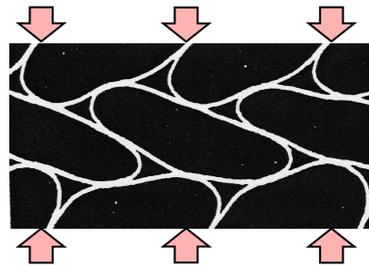
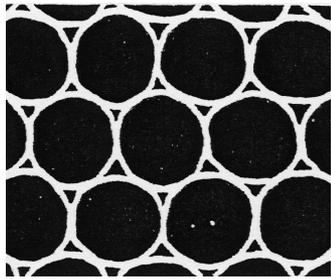


単軸圧縮

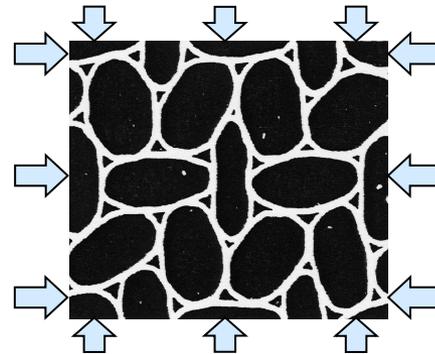


二軸圧縮

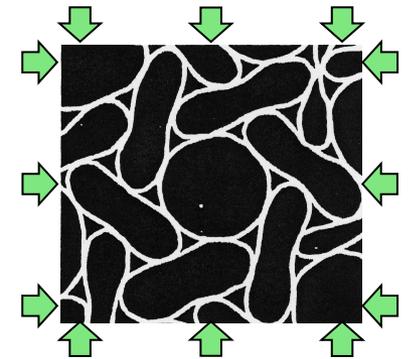
Papka and Kyriakides (1999)



単軸圧縮



二軸圧縮



等二軸圧縮
(花状モード)

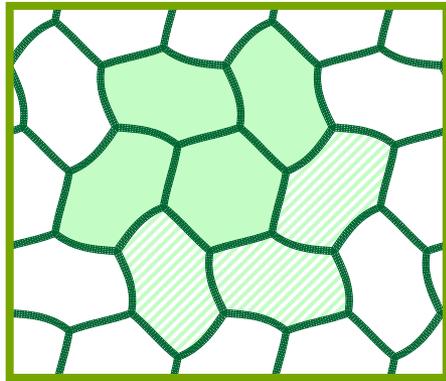
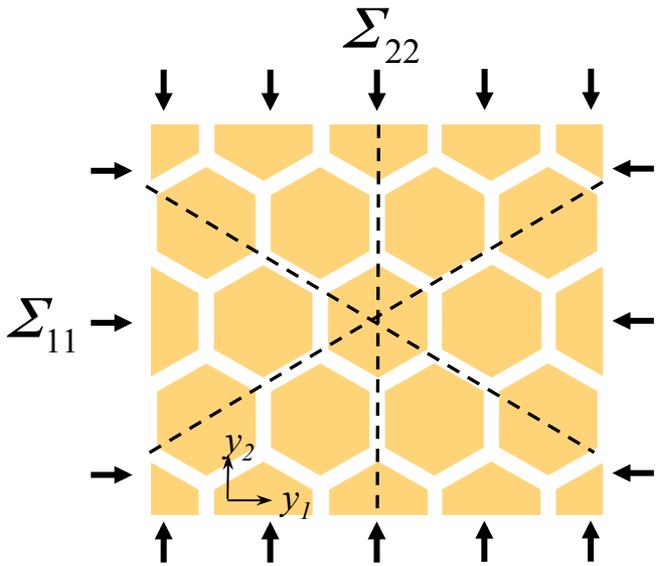
大変形の均質化法とハニカムへの適用

Ohno, Okumura, Noguchi.
J Mech Phys Solids (2002)

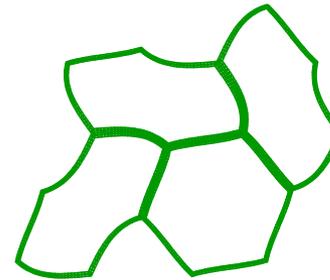
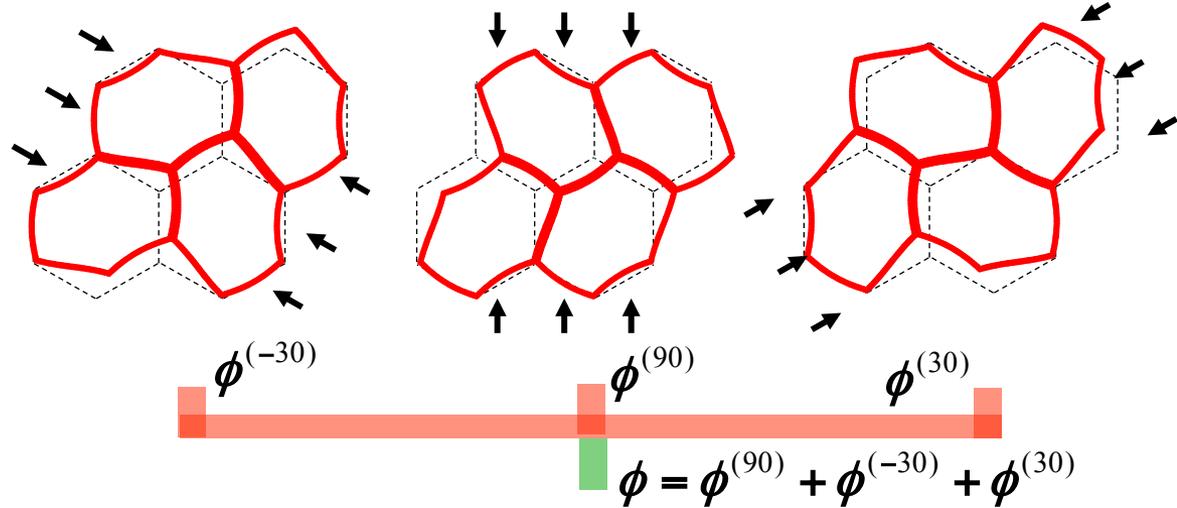
Okumura, Ohno, Noguchi.
J Mech Phys Solids (2004)

1. 大変形の均質化法の構築(更新Lagrange形式)
2. 分岐条件(不安定条件)の導出
3. 面内圧縮負荷を受けるハニカムの解析
座屈モード(単軸, 二軸, 等二軸)の解明

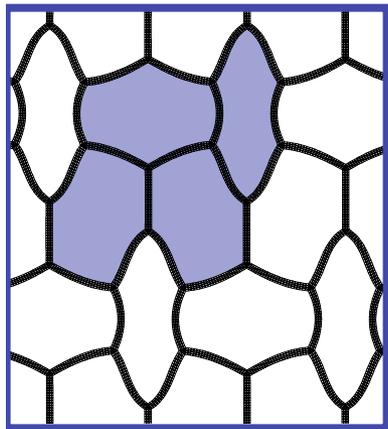
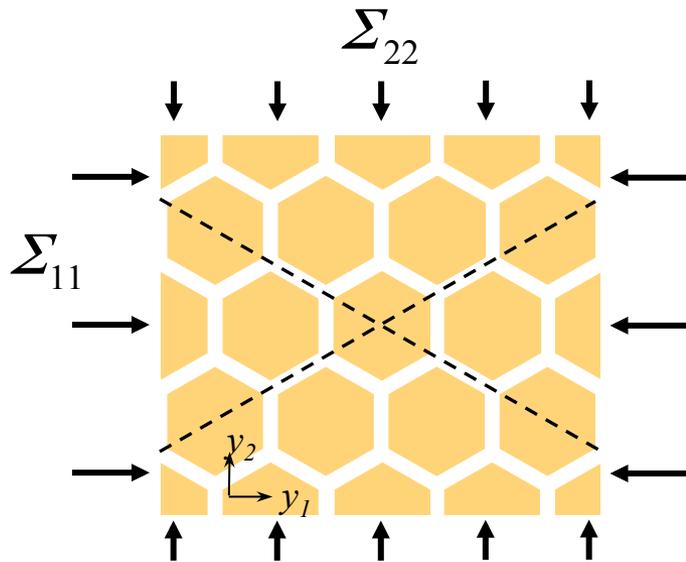
座屈モード：等二軸圧縮($\Sigma_{11} = \Sigma_{22} < 0$)



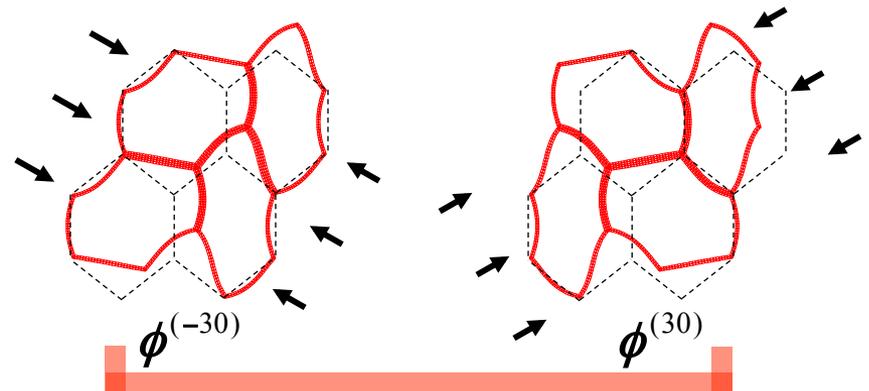
■ 3重分岐点 ($m=3$) での固有モード



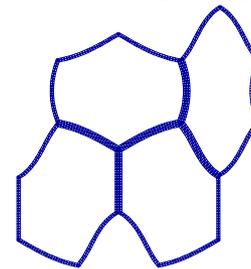
座屈モード: 二軸圧縮 ($\Sigma_{11} < \Sigma_{22} < 0$)



■ 2重分岐点 ($m=2$)での固有モード



$$\phi = \phi^{(-30)} + \phi^{(30)}$$



均質化法の研究：その後の展開(1/2)

□ 他の材料への適用

- 正方形ハニカム (企業からの技術相談)

Ohno et al, IJMS (2004); Erami et al, IJP, (2006)

- 織物複合材料

Matsuda et al, Compos Struct (2007)

- ケルビンセル (発泡体)

Okumura et al, IJSS (2008); Takahashi et al, IJMS (2010)

□ 2スケール解析の理論構築と応用

Asada, Ohno, IJSS (2007); Asada et al, IJSS (2009)

□ プレートフィン構造体の均質化解析とマクロモデル

(三菱重工業との共同研究)

Tsuda et al, IJMS (2010); Tsuda, Ohno, IJP (2011)

均質化法の研究：その後の展開(2/2)

□ 多孔板の均質化解析とマクロモデル

Ikenoya et al, Mater High Temp (2010)

□ ポア部分に内圧が作用したオープンポーラス体の均質化特性

Ohno et al, IJSS (2012); Ohno et al, IJMS (2014)

□ チューブフィン構造体の均質化法(デンソーとの共同研究)

岩堀ら, 機論(2014, 2015)

□ 斜交積層板の弾粘塑性領域での「負のポアソン比」

Matsuda et al, IJP (2014)

主要な研究業績(その6)

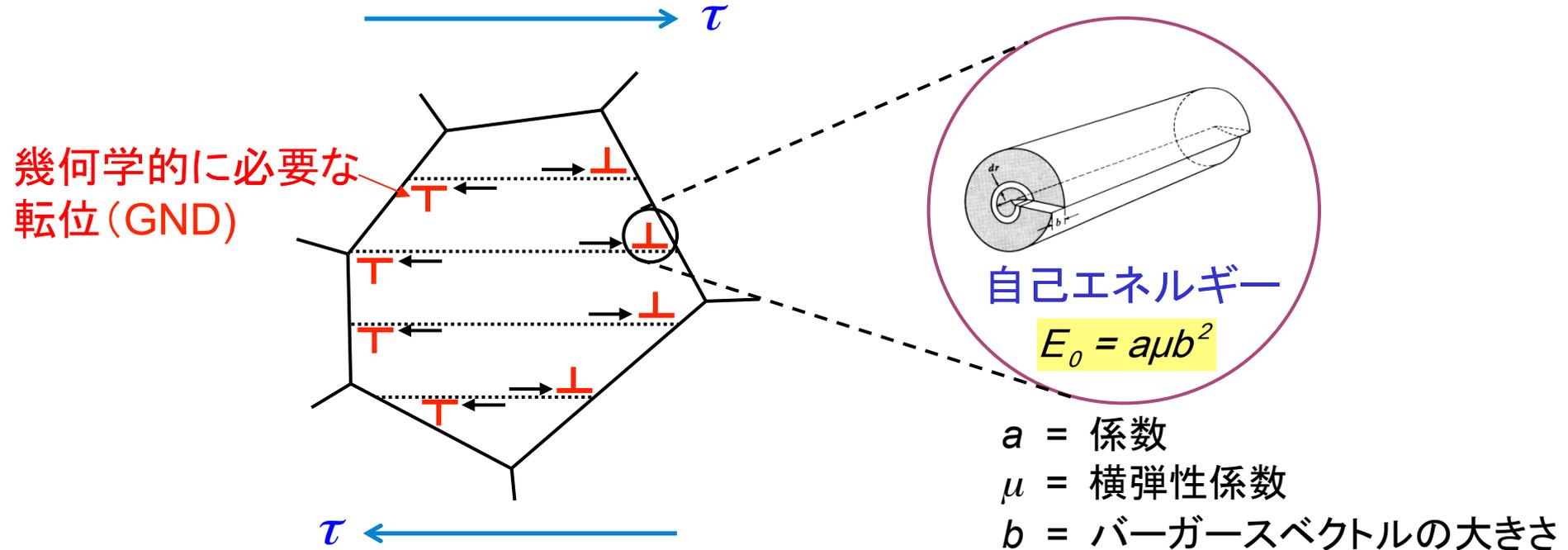
6. Strain gradient plasticity based on the self-energy of GNDs

転位の自由エネルギーを考慮した塑性理論の構築.
塑性勾配理論への物理的意味付け.

- Ohno, Okumura. *J Mech Phys Solids* (2007)
被引用回数 89 (Google Sch.), 62 (Web Sci.)

転位の自己エネルギーを考慮した塑性こう配理論

Ohno, Okumura. *J Mech Phys Solids* (2007)



1. GNDの自己エネルギーを考慮した塑性こう配理論の構築
(cf. Fleck-Hutchinson, 1993; Gurtin, 2002;)
2. 降伏応力の結晶粒径依存性の解析 (cf. Hall-Petchの実験式)
3. 解析結果と実験結果の比較 (結晶粒径: サブミクロン~)

降伏応力の結晶粒径依存性

Ohno, Okumura. *JMPS* (2007)

解析的予測:

$$\frac{\sigma_Y - \sigma_0}{\mu b} = \frac{M\Theta a}{D}, \quad \sigma_0 = Mk_0$$

実験値 ($\sigma_{0.2}, \sigma_{0.5}$):

Al-6wt%N (Lloyd, 1980)

316SS (Kashyap-Tangri, 1995)

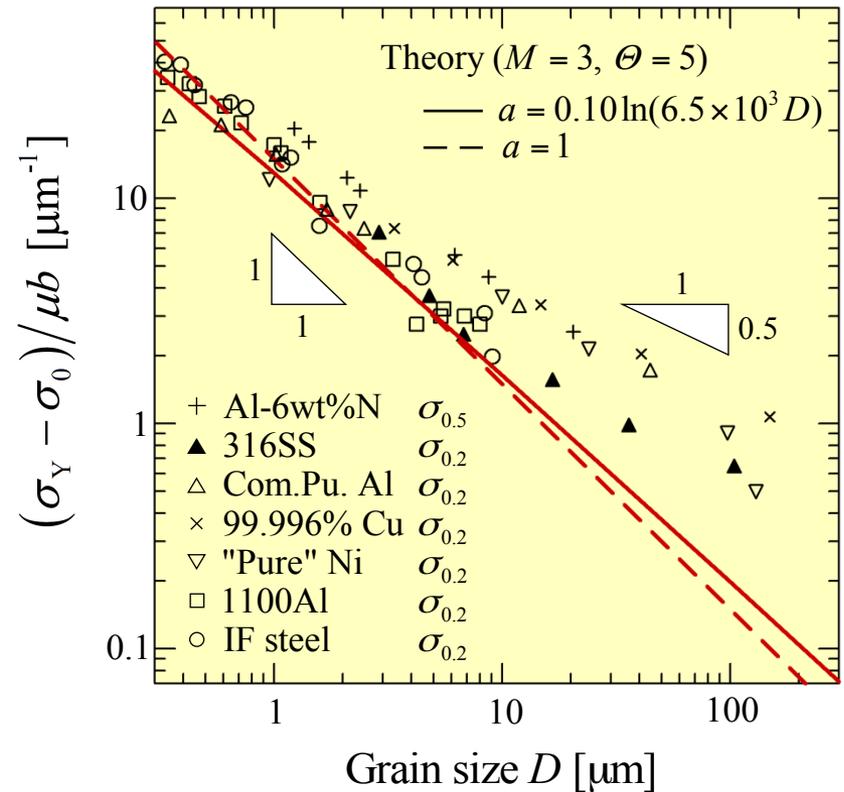
Com. Pu. Al (Yu et al., 2005)

99.996%Cu (Thompson-Baskes, 1973)

"Pure" Ni (Thompson, 1977)

1100Al (Tsuji et al., 2002)

IF steel (Tsuji et al., 2002)



降伏応力の結晶粒径依存性

Ohno, Okumura. *JMPS* (2007)

解析的予測:

$$\frac{\sigma_Y - \sigma_0}{\mu b} = \frac{M\Theta a}{D}, \quad \sigma_0 = Mk_0$$

実験値 ($\sigma_{0.2}, \sigma_{0.5}$):

Al-6wt%N (Lloyd, 1980)

316SS (Kashyap-Tangri, 1995)

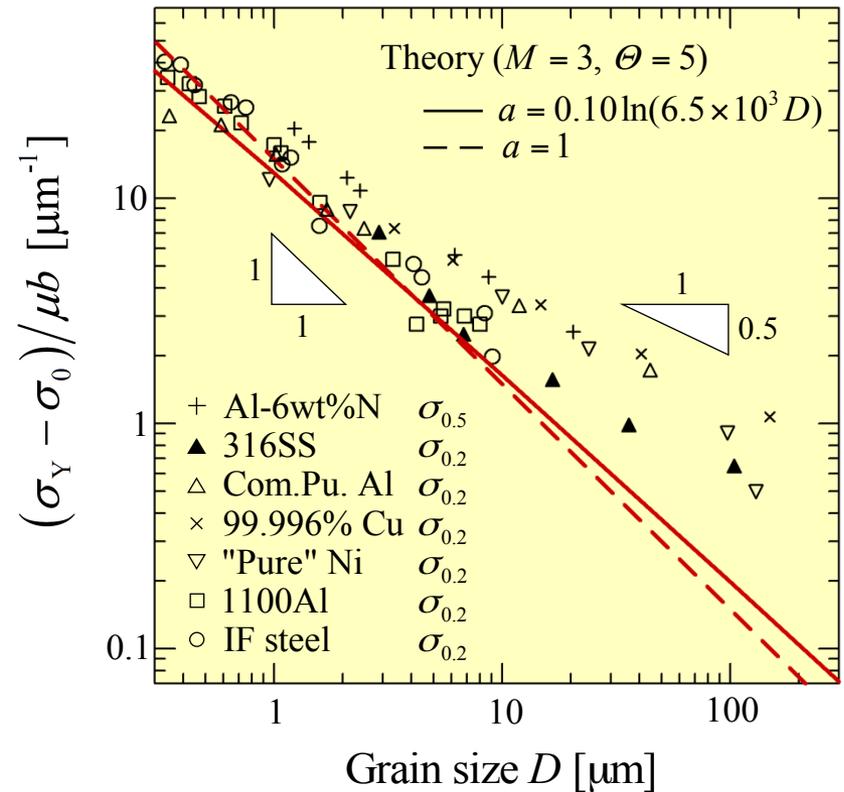
Com. Pu. Al (Yu et al., 2005)

99.996%Cu (Thompson-Baskes, 1973)

"Pure" Ni (Thompson, 1977)

1100Al (Tsuji et al., 2002)

IF steel (Tsuji et al., 2002)

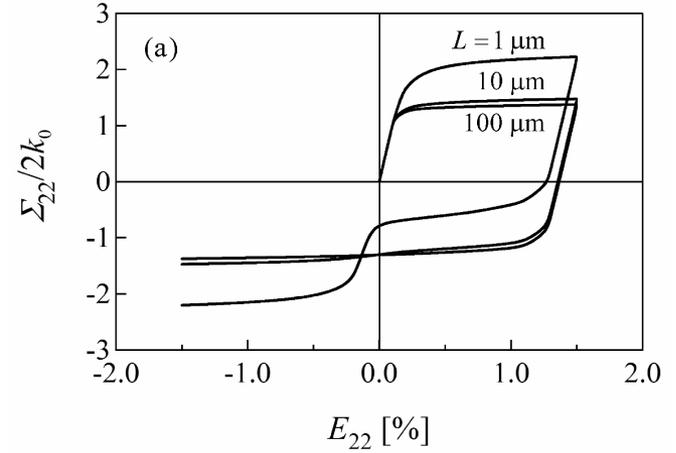
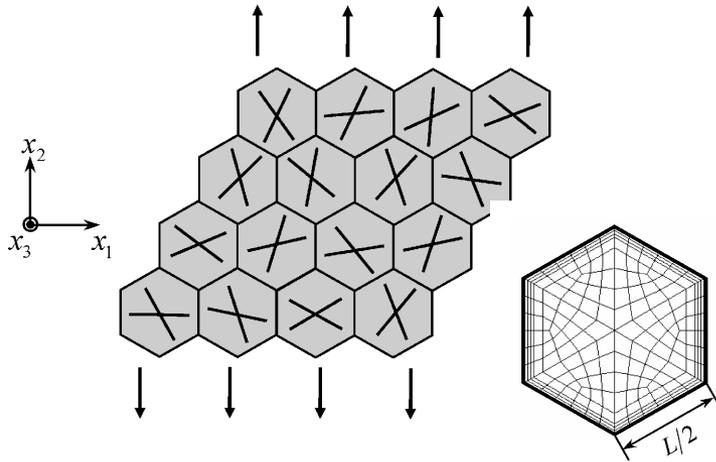


2007年3月に一週間の海外出張 (MIT, ハーバード大, イリノイ大, カーネギーメロン大)
2007年11月にブラウン大で講演: Prof. Needlemanから「逆負荷」について質問

逆負荷での応力-ひずみ曲線

Ohno, Okumura, Shibata. IJMPB (2008)

周期2D多結晶モデル:



GN転位密度

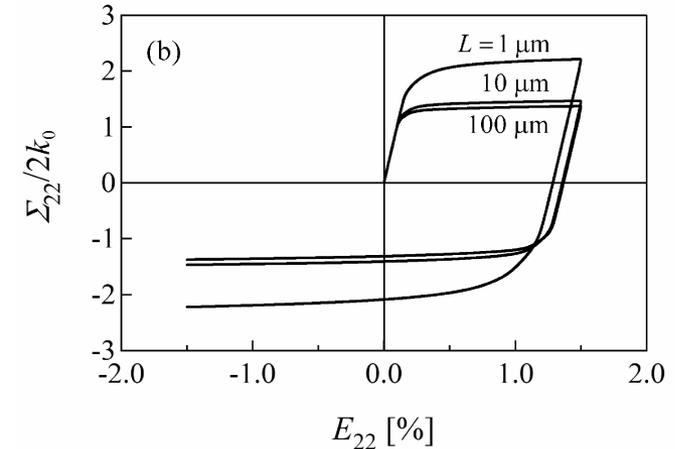
GN転位の自己エネルギー:

$$\psi = \sum_{\beta} E_0 \rho_G^{(\beta)}, \quad \rho_G^{(\beta)} = \frac{1}{b} (\gamma_{,-i}^{(\beta)} \gamma_{,-i}^{(\beta)})^{1/2}$$

GN転位密度

$$\psi = \sum_{\beta} E_0 \bar{\rho}_G^{(\beta)}, \quad \bar{\rho}_G^{(\beta)} = \frac{1}{b} \int_0^t (\dot{\gamma}_{,-i}^{(\beta)} \dot{\gamma}_{,-i}^{(\beta)})^{1/2} dt$$

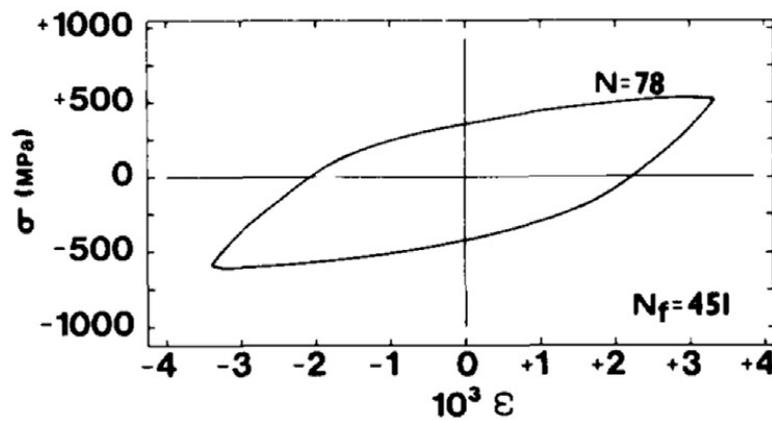
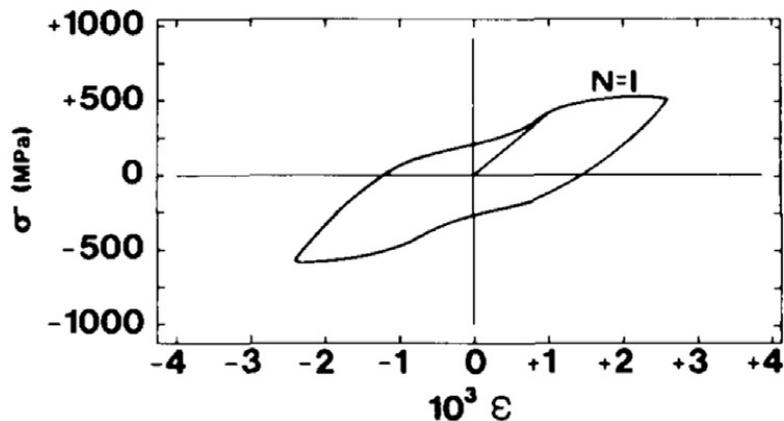
累積GN転位密度



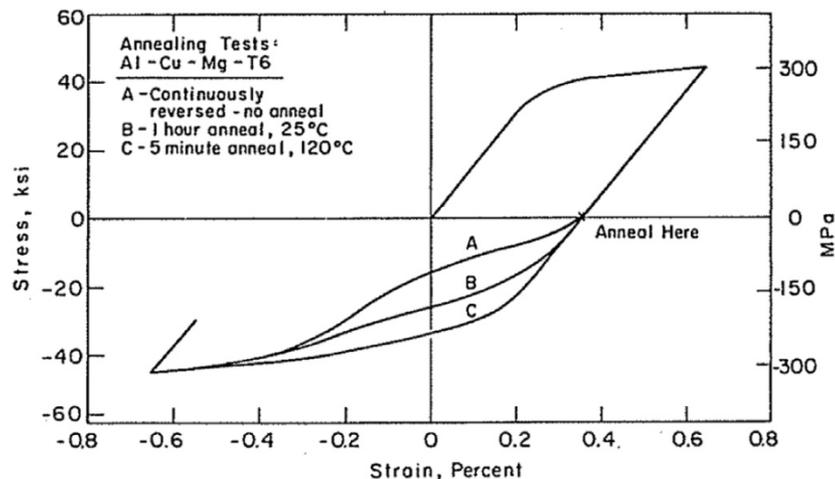
累積GN転位密度

繰返し負荷での応力-ひずみ曲線(実験)

Wulfinghoff, Forest, Böhlke. JMPS (2015)



Fe - 19wt% Cr 合金 (Tillard and Pineau, 1982)



Al-Cu-Mg-T6合金 (Stoltz and Pelloux, 1976)

主要な研究業績(その3, 7)

3. Kinematic hardening model for ratcheting

ラチェット変形の塑性構成式の開発. 国内外の多くの研究者が使用.

- Ohno, Wang. *Int J Plast* (1993a)
被引用回数 640 (Google Sch.), 385 (Web Sci.)
- Abdel-Karim, Ohno. *Int J Plast* (2000)
被引用回数 228 (Google Sch.), 141 (Web Sci.)

7. Implementation of cyclic (visco)plastic models in FEMs

陰解法FEM用の弾(粘)塑性構成式サブルーチンの開発.
約10機関で使用.

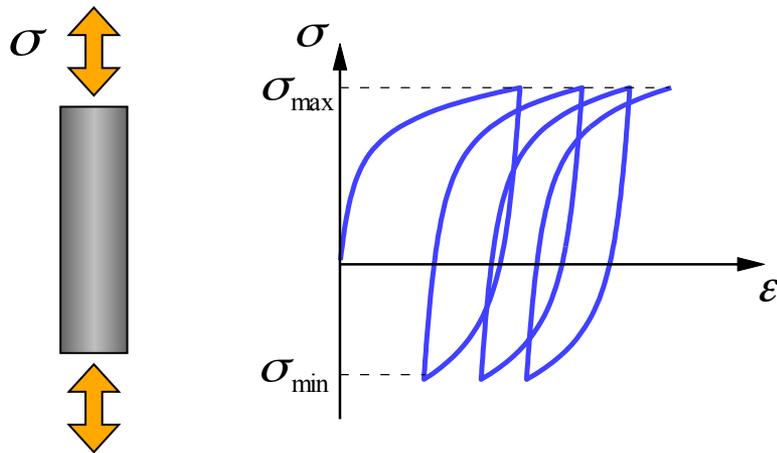
- Kobayashi, Ohno. *Int J Numer Meth Eng* (2002)
引用回数 113 (Google Sch.), 70 (Web Sci.)

繰返し(粘)塑性構成式の開発とFEM実装(1/5)

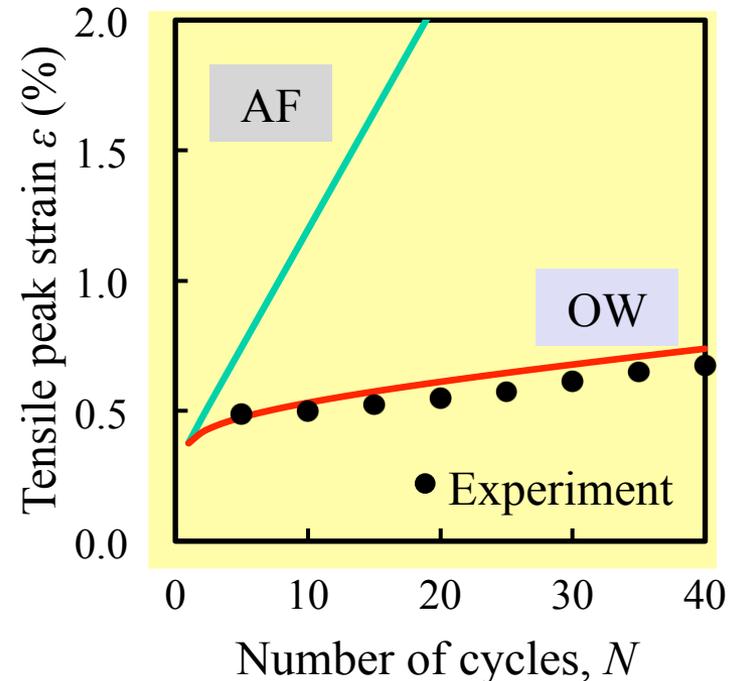
● ラチェット変形用の非線形移動硬化モデルの開発

Ohno, Wang. *Int J Plast* (1993a,b)

Ohno, Wang. *Eur J Mech A/Solids* (1994)



単軸ラチェット現象



改良9Cr-1Mo鋼 (550°C)

$$\sigma_{max} = 400\text{MPa}, \sigma_{min} = -200\text{MPa}, \dot{\epsilon} = 50\text{MPa/sec}$$

繰返し(粘)塑性構成式の開発とFEM実装(2/5)

● 高速炉の液面熱ラチェット解析への適用

自家製FEMプログラムに実装して解析(陽解法)

Kobayashi, Ohno, Igari. *Int J Plast* (1998)

● AbaqusのUMATサブルーチンの開発

陰解法(Simo, Taylor. 1985)に基づく実装プログラム

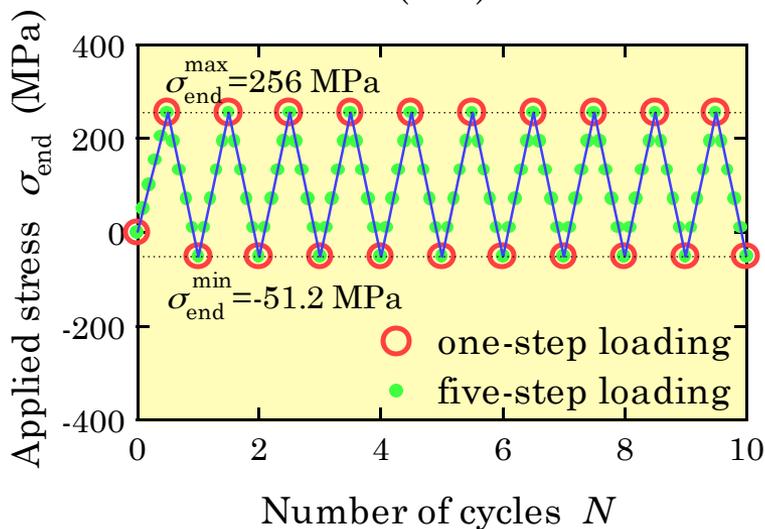
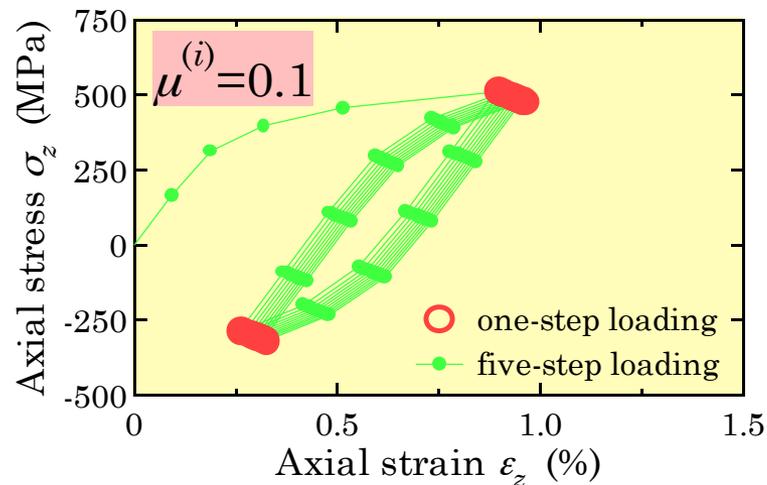
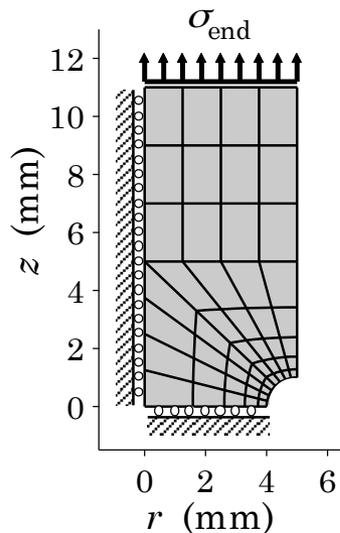
- ・ 応力の陰的積分
(後退オイラー法による構成式の離散化)
- ・ コンシステント接線剛性
(離散化した構成式の接線剛性)

Kobayashi, Ohno. *Int J Numer Meth Eng* (2002)

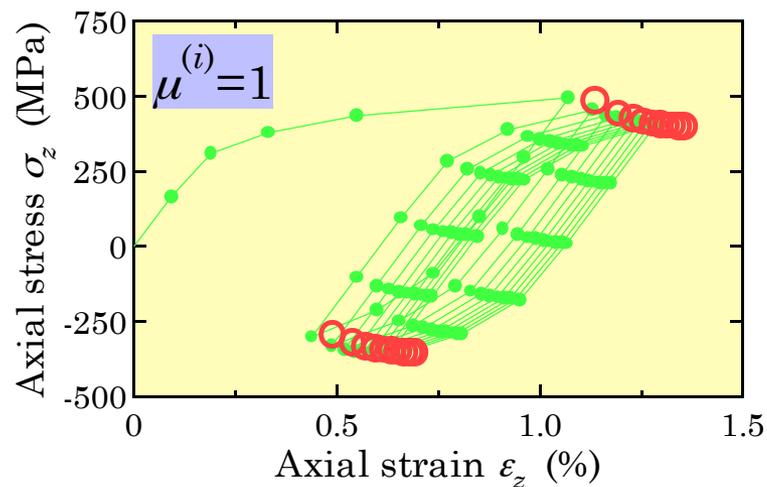
FINASに採用

繰返し負荷を受ける切欠丸棒の解析 (AF-OW重合モデル)

Kobayashi, Ohno. *Int J Numer Meth Eng* (2002)



軸端応力 σ_{end} の繰返し変化



応力-ひずみ曲線 (切欠底)

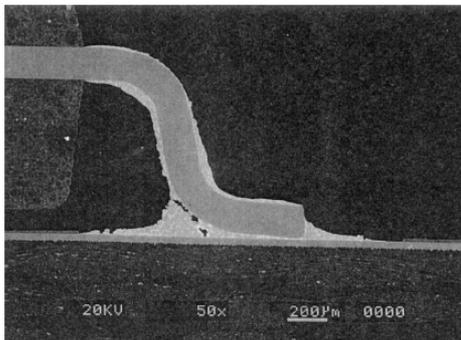
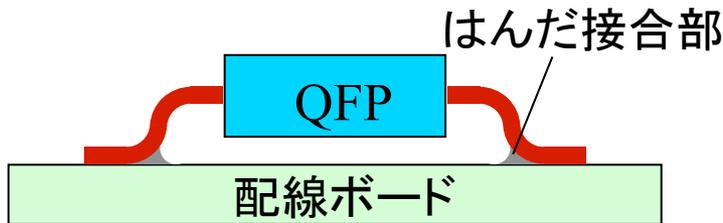
繰返し(粘)塑性構成式の開発とFEM実装(3/5)

● 無鉛はんだ用非弾性構成式の開発とFEM実装

RoHS規制(鉛などを2006年から使用禁止)への対策
東芝との共同研究(2000年に開始)

- 構成式の開発とUMATプログラムの作成

Kobayashi, et al. *Int J Numer Meth Eng* (2003)



はんだ接合部のクラック(東芝)



日経新聞(2002年3月29日)

繰返し(粘)塑性構成式の開発とFEM実装(4/5)

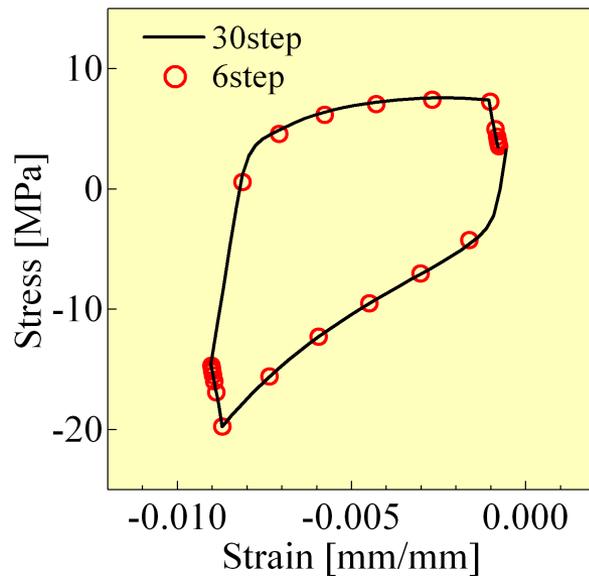
● 無鉛はんだ用非弾性構成式の開発とFEM実装(つづき)

他社からの使用願い(2004)

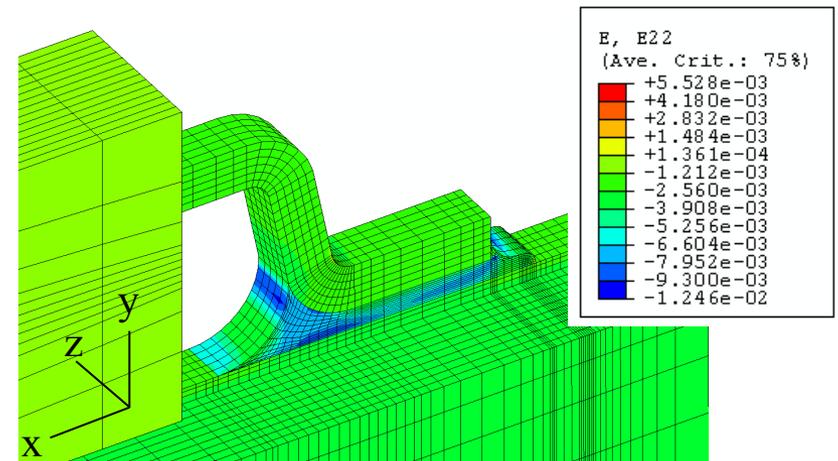
別のアルゴリズムを開発し, UMATプログラムを作成

Akamatsu, Nakane, Ohno. *JSMME* (2008)

ADVENTUREClusterに採用 → JAXA(西元ら, 機論, 2012, 2015)



はんだ接合部の応力-ひずみ
曲線(y方向)



はんだ接合部付近の
y方向ひずみ分布

繰返し(粘)塑性構成式の開発とFEM実装(5/5)

● これまでのプログラムの統合(2009年に開始)

- Ohno Lab. Material Model Software (OLMATS)
- 機械的ひずみ = 弾性 + (粘)塑性 + 定常クリープ



非線形移動硬化 (OW, AF)
繰返し硬化
塑性 / 粘塑性の切替温度

- 材料パラメータ同定用ソフト
- Ohno, Tsuda, et al. *FEAD* (2013, 2016)

● OLMATSの拡張・改良(2015年) → NUMATS

- 繰返し熱・機械荷重下での繰返し硬化
- 繰返し硬化のひずみ範囲依存性

最終講義の内容

1. 略歴
2. 副題「クリープ損傷力学から均質化法へ」の説明
3. 主な研究成果
4. 国際交流・活動の思い出
5. 退職後について
6. 謝辞

20代の国際的経験(1/2)

- Sawczuk先生との共同研究(1975, D1のとき)
 - 学振招聘事業により名古屋大学に4ヶ月滞在
 - 共同研究「一様分布荷重を受ける単純支持だ円版の極限解析」
 - Ohno, Sawczuk. *J Méc Appl* (1979)
 - 英語を理解できず→英会話学校



小生, 徳田先生, Sawczuk先生, 大橋先生, 村上先生
(複合負荷試験機の実験室で)

20代の国際的経験(2/2)

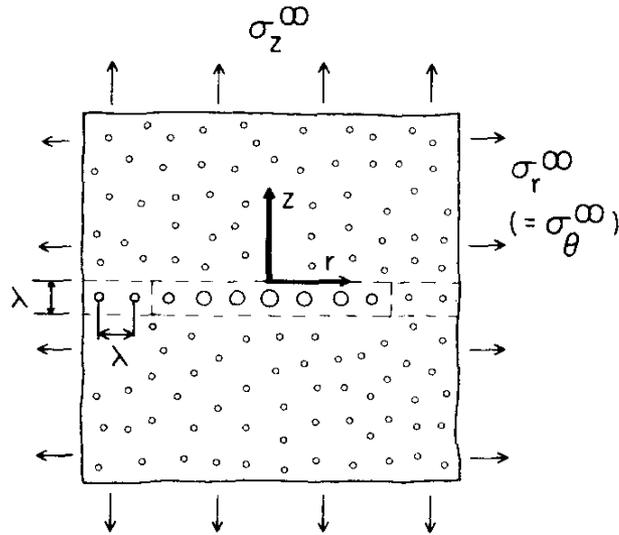
- 50日間の海外研修旅行(1978, 名大助手のとき, 自費)
 - ・ ポーランド科学アカデミーに36日間滞在
 - ・ 2つの国際会議に参加, 大学訪問
 - ・ ポーランド, チェコスロヴァキア, 西ドイツ, フランス
- 37日間の海外研修旅行(1980, 名大助手のとき, 自費)
 - ・ 2つの国際会議に参加, 大学訪問
 - ・ 米国, カナダ, デンマーク, スウェーデン, 英国
 - ・ Hutchinson先生との出会い(Harvard, Toronto)
- 当時の状況
 - ・ 講座(研究室): 教授1, 助教授・講師1, 助手2, 技官1, 事務員1
 - ・ 助手の講義分担: 前期あるいは後期に学生実験1テーマ
 - ・ 1ドル=約250円

ハーバード大学客員研究員(1982.4~1983.3)

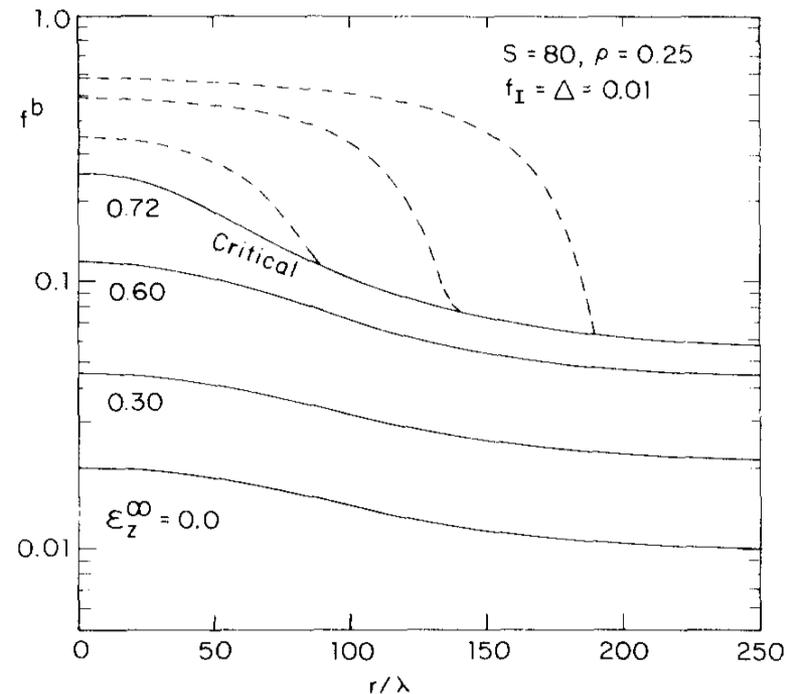
● ハーバード大学に1年間の外国出張(半分自費, 32歳のとき)

- ・ 妻と長女(一歳)とともに
- ・ ハーバード, ブラウン, MIT等の最新の研究成果を勉強
- ・ Gursonモデル(1977)を用いた解析
- ・ Ohno, Hutchinson. *J Mech Phys Solids* (1984)

被引用回数=50 (cf. Hutchinson先生のH-index=93, Web Sci.)



ボイドクラスターを有する半無限体



ハーバード大学客員研究員(1982.4～1983.3)



International Scientific Committee に初就任 (1988)

- Scientific Committee of International Seminar on the Inelastic Behavior of Solids, Besancon, France, 1988.

CHABOCHE J.L. (France)	— J.L. CHABOCHE	ONERA	(France)
GERADIN M. (Belgium)	— M. GERADIN	Université de Liège	(Belgique)
KREMPL E. (USA)	— P. HAUPT	Institut für Mechanik der Darmstad	(R.F.A.)
LEMAITRE J. (France)	— J. LEMAITRE	ENSET	(France)
HAUPT P. (RFA)	— E. KREMPL	Rensselaer Polytechnic Institute.	(U.S.A.)
MROZ Z. (Poland)	— Z. MROZ	Instytut Podstawowych Problemow	(Pologne)
OHNO N. (Japan)	— S. MURAKAMI	Nagoya University	(Japan)
OYTANA C. (France)	— N. OHNO	Toyohashi University	(Japan)
OWEN DRJ (U.K.)	— R.J. OWEN	University College of Swansea	(U.K.)
PONTER ARS (U.K.)	— C. OYTANA	Université de Besançon (LMAB)	(France)
ROUSSELIER C. (France)	— A.R.S. PONTER	University of Leicester	(U.K.)
VALANIS KC (USA)	— G. ROUSSELIER	EDF Renardières, Dept. EMA	(France)
WALKER KP (USA)	— K.C. VALANIS	University of Cincinnati	(USA)
	— K.P. WALKER	Engineering Science Software	(USA)

Prof. OytanaからのLetter
での委員構成(1986)

Proceedingsでの委員構成
(1988)

IJPのBoard Memberに抜擢(1989)

- International Journal of Plasticity (1985年創刊)
 - Editor-in-Chief: Prof. Akhtar Khan
 - 津市で1989年に2nd International Symposium on Plasticity
 - 徳田正孝先生(議長)からIJPのBoard Memberに推薦



国際会議の開催 (2000)

- 3rd IUTAM Symposium on Creep in Structures
 - 村上澄男先生と共同議長
 - 名古屋大学シンポジオンで2000年4月に開催
 - 15ヶ国から91人の参加者
 - 水野(衛)先生, 琵琶先生のご協力



国際会議の開催 (2006)

- 8th Asia-Pacific Symposium on Engineering Plasticity and Its Applications
 - 議長. 名古屋大学IB館で2006年9月に開催
 - 19ヶ国から約280人の参加者
 - 上原先生のご協力



Plasticity2016でのミニシンポジウム

- Mini-Symposium: From Creep Damage Mechanics to Homogenization Methods (in Honor of Nobutada Ohno), Plasticity2016, Kona, Hawaii, Jan. 3-9, 2016
 - オーガナイザー: H. Altenbach, T. Matsuda, D. Okumura
 - 22件の講演
 - 日本から多数の参加者



退職後について

◆ 今年度, 主に行ったこと

- 研究指導, 講義, 就職担当, JSME「機械の日」開催
- 第一著者として論文執筆
- 材料モデルソフトNUMATSを自力で拡張・改良
- 共同研究・技術相談

◆ 退職後, 社会貢献として何をしたいか, すべきか.

- NUMATSの仕上げ
- NUMATS, 材料モデルのテキスト執筆
- 共同研究・技術相談
- (第一著者として)論文執筆

◆ 来年度4月からの所属等

- 名古屋産業科学研究所(名産研)上席研究員
- 仕事場: アパートの一室をレンタル
- 資金: 名産研の研究費

研究室のスタッフに感謝

◆ 担当した研究室(教授昇任後)

- 機械情報システム工学専攻 機械情報処理講座(1994.4-1996.3)
- マイクロシステム工学専攻 マイクロ材料システム講座(1996.4-2004.3)
- 計算理工学専攻 計算固体力学グループ(2004.4-2016.3)

◆ 研究室のスタッフ(時系列順, 敬称略)

- 准教授(助教授), 講師:
北 栄輔, 琵琶志朗, 上原拓也, 奥村 大
- 助教(助手):
呉 旭, 水野 衛, 小林峰雄, 松田哲也, 奥村 大, 木下佑介
- 技術員(技官):
正中康博
- 秘書:
嶽 弥生, 浅田(梶浦)扶美子

博士後期課程の院生に感謝

◆ 博士(工学)の学位を取得された方々(敬称略)と取得年月

- ・ 王 建定(1992年3月)
- ・ 小林 峰雄(1998年3月)
- ・ M. Abdel-Karim(1999年3月)
- ・ 谷江 尚史(1999年3月)
- ・ 豊田 哲也(2001年3月)
- ・ 清水 利弘(2002年3月)
- ・ 松田 哲也(2002年3月)
- ・ 渡辺 由布(2002年3月)
- ・ 奥村 大(2003年3月)
- ・ 三宅 卓志(2003年10月)**
- ・ 岡部沙也佳(2006年3月)
- ・ 赤松 聖文(2007年3月)
- ・ 浅田 崇史(2009年3月)
- ・ 中根 和彦(2010年3月)*
- ・ 矢口 昭弘(2010年7月)*
- ・ 津田 将利(2012年3月)
- ・ 池之谷和孝(2013年3月)
- ・ 岩堀 恵介(2015年3月)*
- ・ 川地 正樹(2015年3月)
- ・ 佐々木康二(2015年3月)*

** 論文博士

* 社会人

ご静聴，有難うございました！

これまでお世話になりました皆様と
一緒に研究して下さいました皆様に
心から感謝します。

