

第97回(2024年春季)講演大会
2024年5月28日

ロジカル熱処理を実現するゆがみ(歪み)制御システムの開発

アリモテック
近畿大学
KOYO熱錬

有本 享三
仲井 正昭
杉本 卓也

- 高精度部品の熱処理では、ゆがみ(歪み)に対して異次元の制約が課せられる.
- 対策として、ゆがみのばらつきが小さい熱処理プロセス(窒化, 高周波焼入れ, 浸炭・高周波焼入れ複合処理など)のみを使用する.
- これらを熱処理シミュレーションに基づくゆがみ制御システムで支援する.
- この様なシステムで支援されたプロセスを **ロジカル熱処理**と名づける.

令和4年度 成長型中小企業等研究開発支援事業(第2回) 採択案件:
ロジカル熱処理を実現するシミュレーション援用(ゆがみ)制御システムの開発
<https://www.chusho.meti.go.jp/keiei/sapoin/2022/221006saitaku01.pdf>

Go-Tech事業(成長型中小企業等研究開発支援事業)

- 特定ものづくり基盤技術の中小企業における活用を支援.
 - 中小企業者等が大学・公設試等の研究機関等と連携.
 - 事業化につながる可能性の高い研究開発.
 - 最大3年間支援.
- 特定ものづくり基盤技術: 以下の12技術
 - ✓ デザイン開発に係る技術
 - ✓ 情報処理に係る技術
 - ✓ 精密加工に係る技術
 - ✓ 製造環境に係る技術
 - ✓ 接合・実装に係る技術
 - ✓ 立体造形に係る技術
 - ✓ **表面処理に係る技術**
 - ✓ 機械制御に係る技術
 - ✓ 複合・新機能材料に係る技術
 - ✓ 材料製造プロセスに係る技術
 - ✓ バイオに係る技術
 - ✓ 測定計測に係る技術
- (2014年より)

[成長型中小企業等研究開発支援事業\(Go-Tech事業\)\(近畿経済産業局\)\(meti.go.jp\)](http://meti.go.jp)

[ものづくり高度化指針に関するよくある質問 | 中小企業庁\(meti.go.jp\)](http://meti.go.jp)

distortion: ゆがみ, strain: ひずみ, deformation: 変形

- 須藤はdistortionを“ひずみ”ではなく“ゆがみ”とした.
- “ひずみ”がstrainに対する学術用語として定義されているためである.

漢字

歪

画数: 9画

音読み: ワイ

訓読み: いが(む), いびつ, ひず(む), ゆが(む)

意味: ゆがむ, ひずむ, まがる, ねじまがる, ゆがみ, まがっている, 正しくない.

[「歪」の部首・画数・読み方・筆順・意味など \(jitenon.jp\)](http://jitenon.jp)

須藤 一, “残留応力とゆがみ”, 1988, 内田老鶴

須藤 一 SUTO Hajime 圃

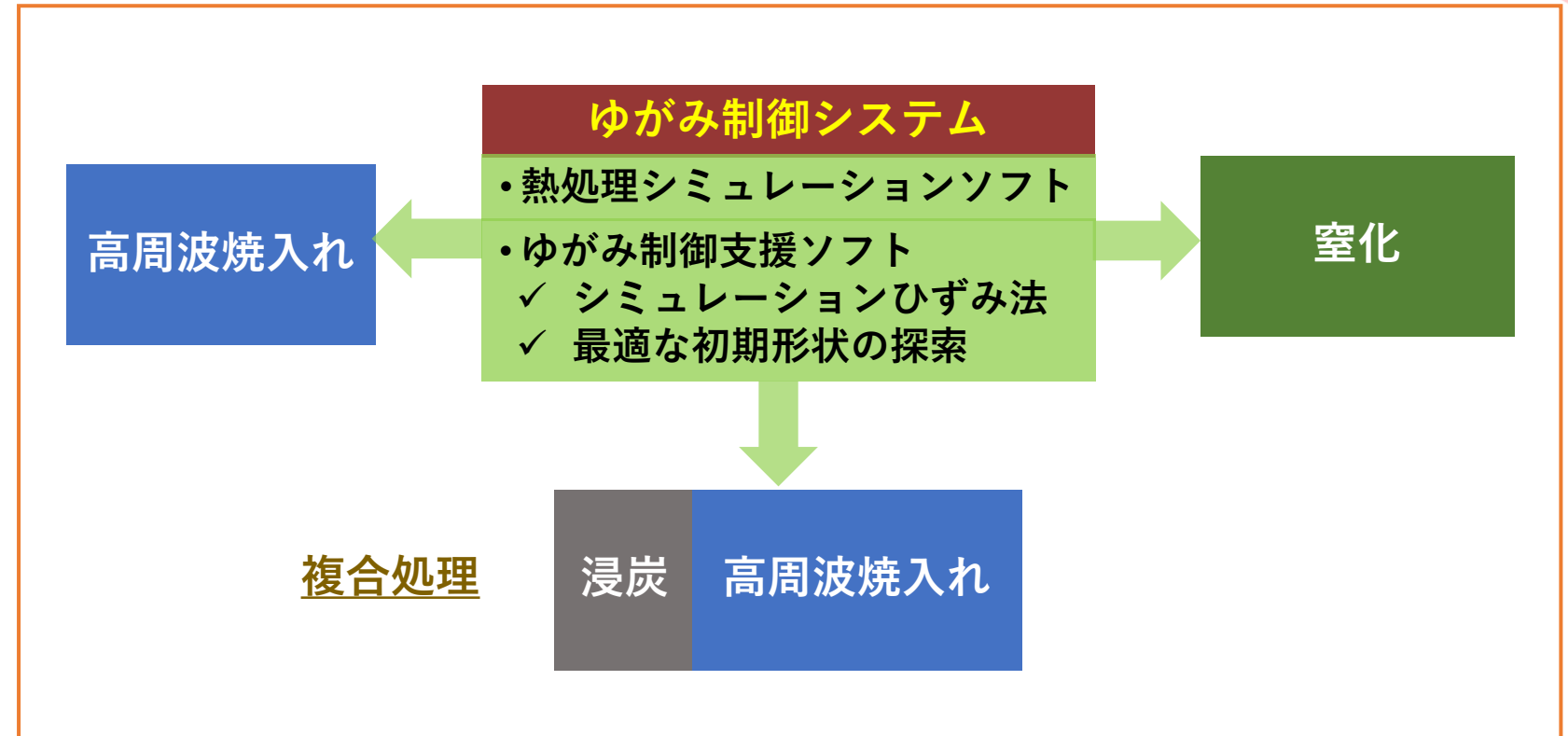
1991年度 – 1993年度: 東北学院大学, 工学部, 教授

1987年度 – 1988年度: 東北大学, 工学部, 教授

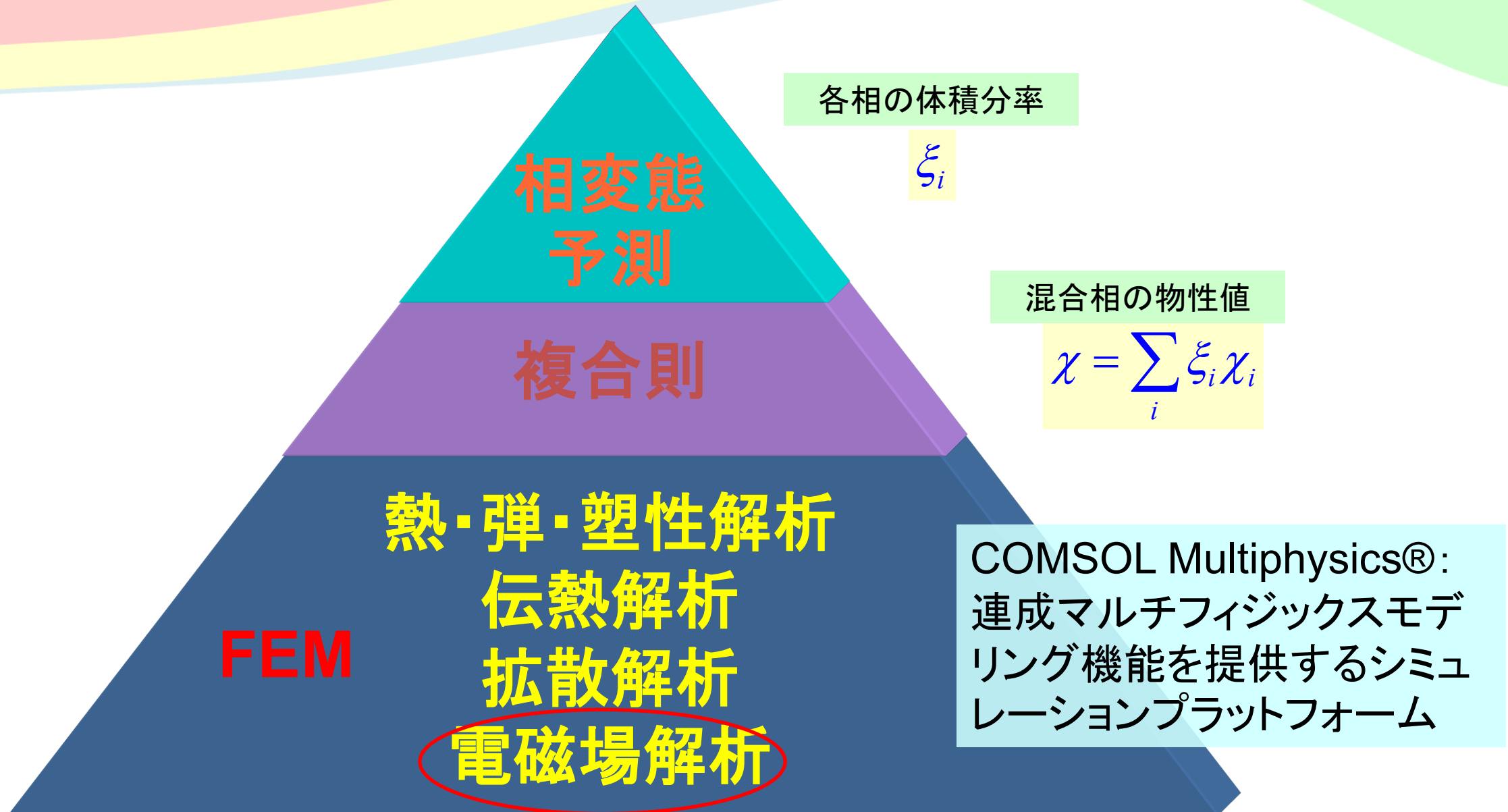
1986年度: 東北大, 工学部, 教授

- ゆがみのばらつきが小さい高周波焼入れ、窒化などの団体急冷の過程を含まない熱処理プロセスを選択
- 浸炭・高周波焼入れ複合処理も同様のばらつきが小
- ばらつき小のプロセスであれば、資源をゆがみそのものの制御に集中可能
- ゆがみ制御システムを開発して適用

ロジカル熱処理



令和4年度 成長型中小企業等研究開発支援事業(第2回) 採択案件:
ロジカル熱処理を実現するシミュレーション援用ゆがみ制御システムの開発
<https://www.chusho.meti.go.jp/keiei/sapoin/2022/221006saitaku01.pdf>



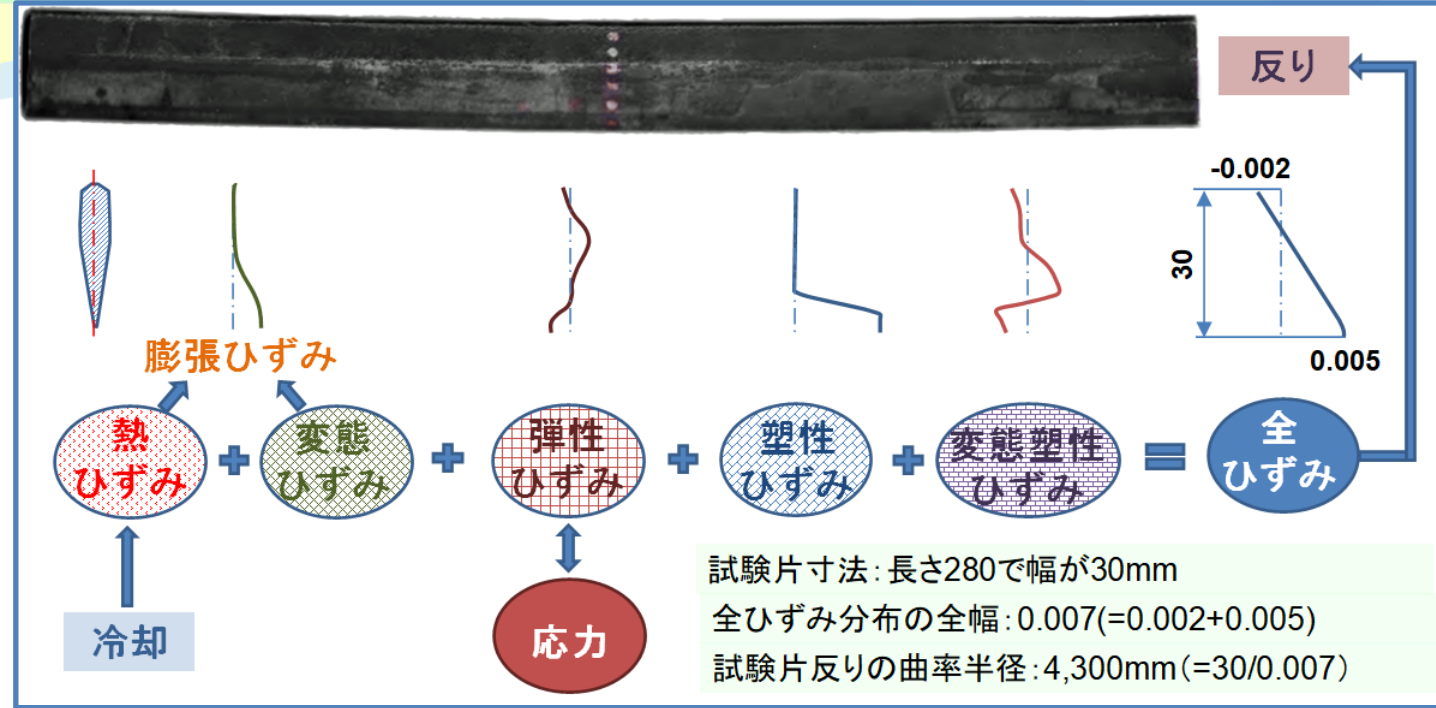
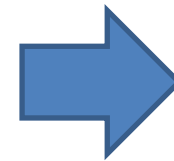
シミュレーションひずみ法

(Simulated Strains-Based Approach)

- 対象物に生じる各種のひずみに基づき、ゆがみと残留応力の発生メカニズムを解明
- シミュレーションによって各種のひずみが得られるようになったことで実現

シミュレーションひずみ法の出現前

- 熱処理のゆがみと残留応力に関する量として得られるのは：
 - ✓ 熱処理前後の形状
 - ✓ 残留応力
 - ✓ (特別な場合として、熱処理中の温度変化、変形の変化)
- オーステナイトステンレス鋼製の日本刀の反り？
- 浸炭焼入れと高周波焼入れにおける表面圧縮残留応力の発生理由？



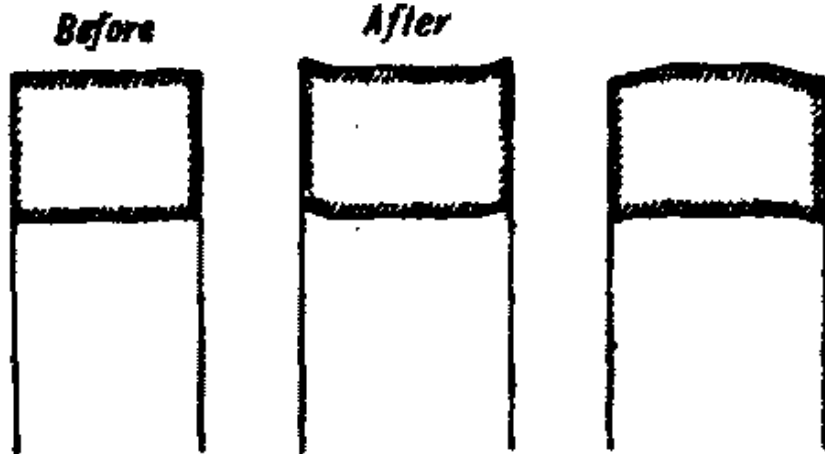
シミュレーションひずみ法の出現後

- シミュレーションから得られた各種のひずみにより、ゆがみ(全ひずみから)と残留応力(弾性ひずみから)の発生理由を説明
- ゆがみへの寄与が大きなひずみを特定でき、対策が可能に
- 同様に残留応力の制御が可能

窒化ゆがみ制御のための最適な初期形状の探索 I

- リングの窒化で断面に特徴的なゆがみが発生
- 中空丸棒の端部に特徴的なゆがみが発生

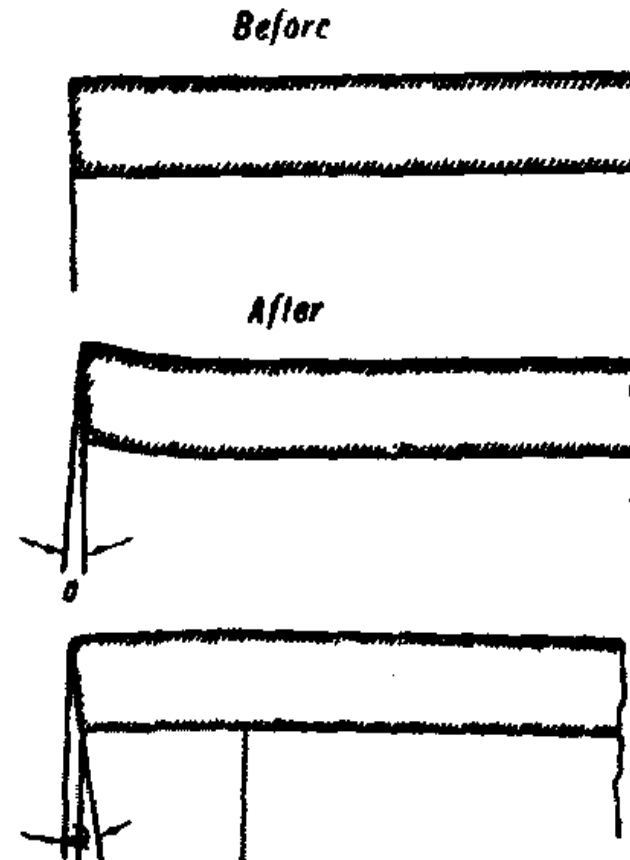
リング断面のゆがみ対策



対策

あらかじめ逆向の初期形状を設置

中空丸棒の端部ゆがみ対策



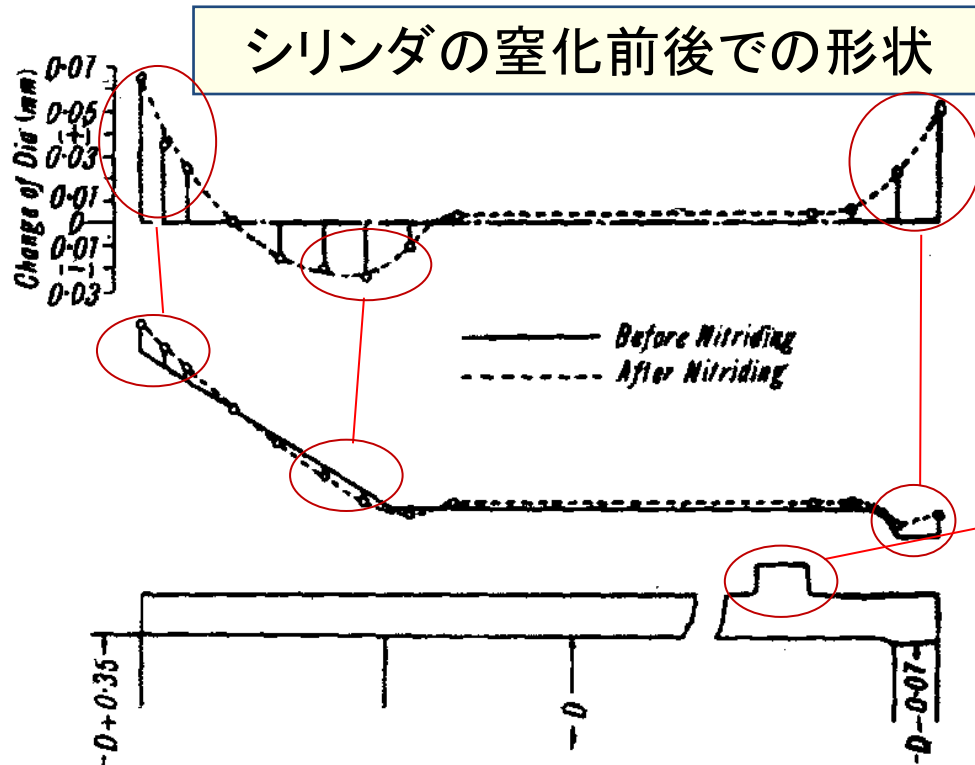
対策

端面が極めて精密を要する場合、事前にその個所の初期形状を最適化し、窒化後に直角となるように工夫

長澤 雄次, 1940, “窒化處理に依る變形に就て”, 日本金屬學會誌, Vol.4, pp. A92-A97

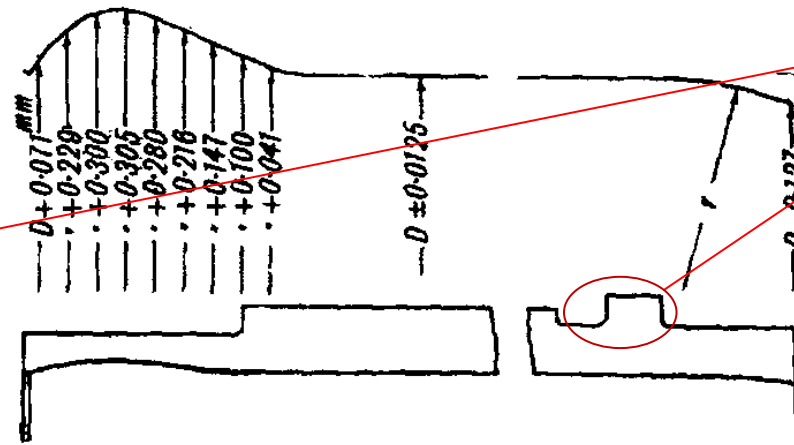
窒化ゆがみ制御のための最適な初期形状の探索 II

- 円筒状部品に加工したものを窒化すると顕著なゆがみが発生
- 窒化前の形状を取付けつば部以外は約20mm厚さの円筒とし、全面錫めっき後に内面のみ研磨
- この場合、上部55mmの間は傾斜を設けて研磨し、下端10mmの間は0.07mmだけ小径
- これを530°で50時間窒化した際、前後の内径計測値および形状変化の状況は左下図

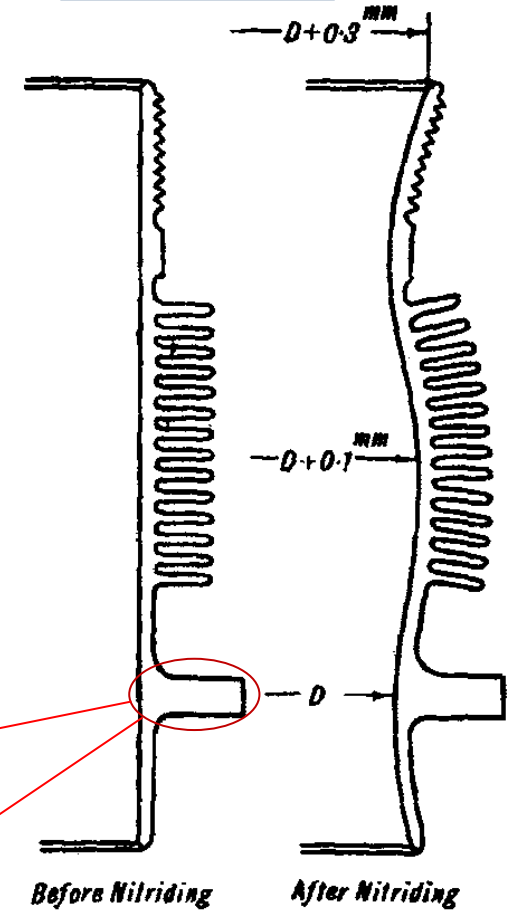


- 図から明かなように端部の径の膨張は中央に比して大であり、上端においてはこの影響のため上端より50 mm付近でかえって内径が減少
- 米国某社では窒化前の形状を右下図のように精細に規定し、上記の問題点に対処

窒化前の形状: 米国某社



失敗例



長澤 雄次, 1940, “窒化處理に依る變形に就て”, 日本金屬學會誌, Vol.4, pp.A92-A97

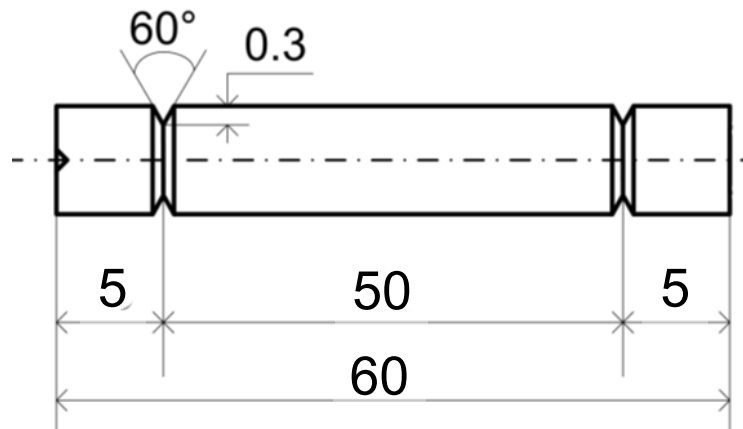
丸棒

直径：2, 3, 4, 5, 6, 8, 10 mm

鋼種：5種類（支給）

窒化処理条件：3種類

仕上げ加工：引張試験片と同等



平板

長さ：100 mm

幅：20 mm

厚さ：1.0, 1.5, 2.0, 3.0 mm

鋼種：5種類（支給）

窒化処理条件：3種類

仕上げ加工：引張試験片と同等

全体をスズめっきした後，片面のみめっき層を除去

円板

直径：50, 100 mm

厚さ：1.0, 1.5, 2.0, 3.0 mm

鋼種：5種類（支給）

窒化処理条件：3種類

仕上げ加工：引張試験片と同等

全体をスズめっきした後，片面のみめっき層を除去

リング

外径：120 mm

内径：110, 100, 90, 80 mm

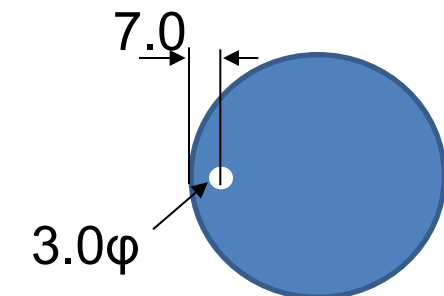
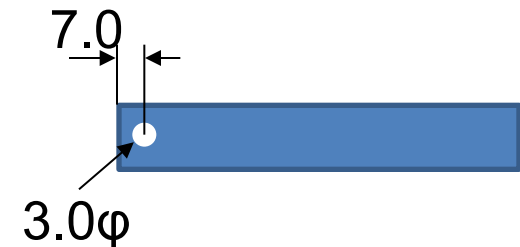
高さ：15mm

鋼種：5種類（支給）

窒化処理条件：3種類

仕上げ加工：引張試験片と同等

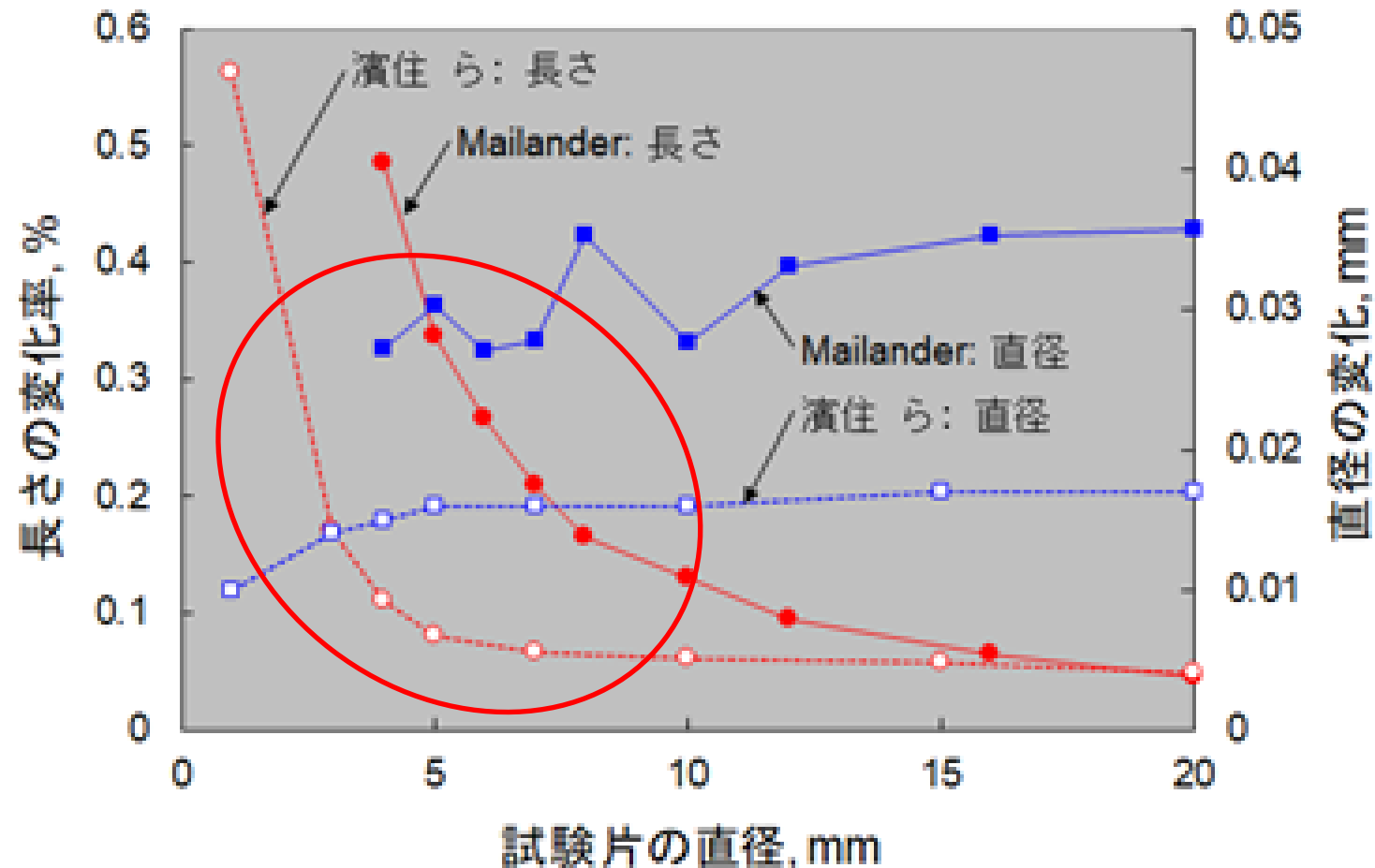
板の吊り孔



円柱試験片の窒化による寸法変化:過去の事例

R. Mailänder, 1936, “Eigenspannungen und Biegeweichselfestigkeit verstickter Stahlproben (窒化鋼試験片の残留応力と曲げ疲労強度)”, Archiv Eisenhutten., Vol. 10, pp. 257-261.

濱住 松二郎, 岡崎正臣, 大平五郎, 1943,
“窒化による寸法変化に就いて”, 日本金属學會誌, Vol. 7 , pp.290-294.



円柱試験片鋼種と化学成分

SACM645 化学成分 %

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Al	Cu
0.4 - 0.5	0.15 - 0.5	以下 0.6	以下 0.03	以下 0.03	以下 0.25	1.3 - 1.7	0.15 - 0.3	0.7 - 1.2	以下 0.3

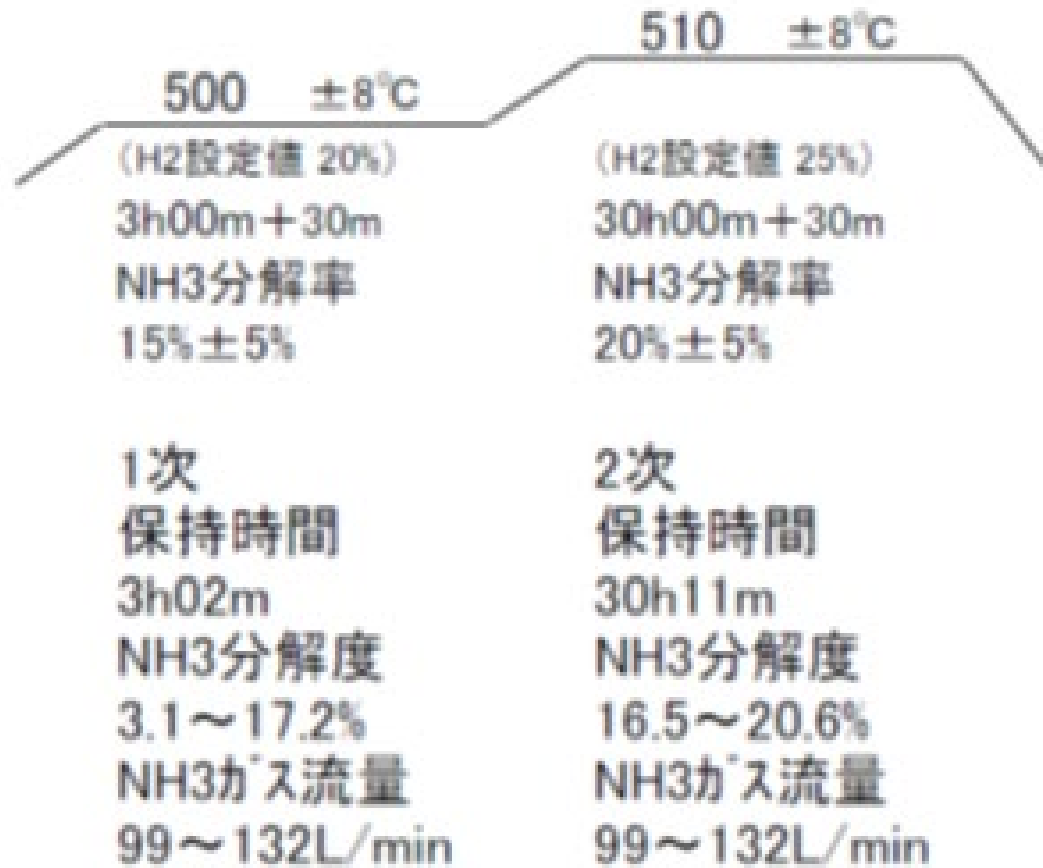
http://steeljis.com/jp/jp_steel_datasheet.php?name_id=40

SCM440 化学成分 %

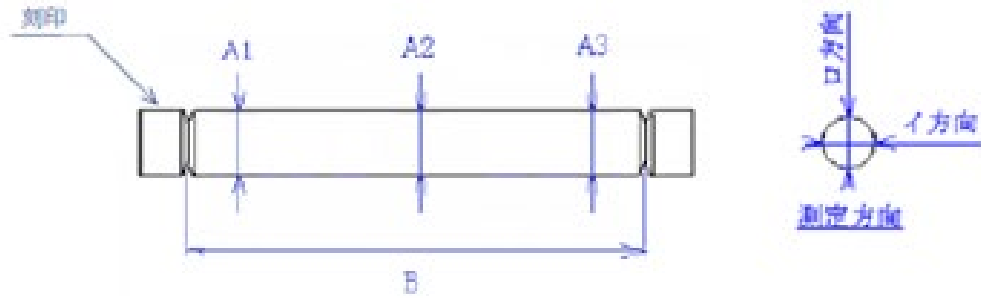
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
0.38 - 0.43	0.15 - 0.35	0.6 - 0.9	以下 0.03	以下 0.03	以下 0.25	0.9 - 1.2	0.15 - 0.3	以下 0.3

http://steeljis.com/jp/jp_steel_datasheet.php?name_id=21

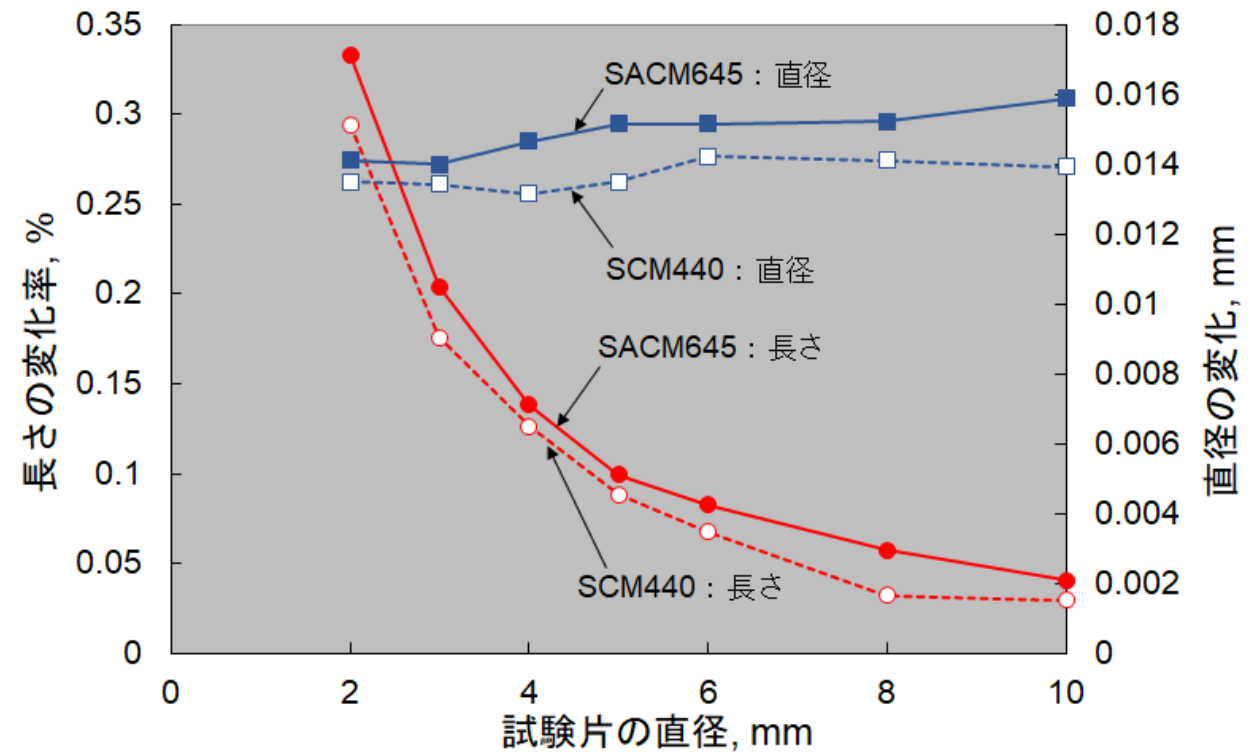
窒化処理 500°Cx3Hr+510°Cx30Hr.



ロジカル熱処理：円柱試験片の窒化による寸法変化



ロジカル熱処理実験：丸棒直径：2,3,4,5,6,8,10 mm



- ロジカル熱処理は、熱処理部品の厳密なゆがみ制御を実現するためのプロセスである.
- 熱処理ゆがみのばらつきが小さい熱処理プロセスを選択する.
- それらを熱処理シミュレーションに基づくゆがみ制御システムで支援する.

ロジカル熱処理のためのシミュレーション援用ゆがみ制御システムの開発は、経済産業省 成長型中小企業等研究開発支援事業 JPJ005698の助成を受けた.