

# 熱間押し出し加工による鉄鋼材料内部組織創成

東京大学生産技術研究所 柳本研究室

Chair for Hyper-functional Forming  
Institute of Industrial Science, The University of Tokyo  
Prof. Dr.-Eng. Jun Yanagimoto

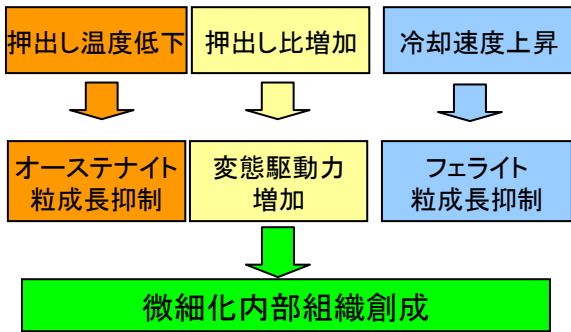


## 研究背景

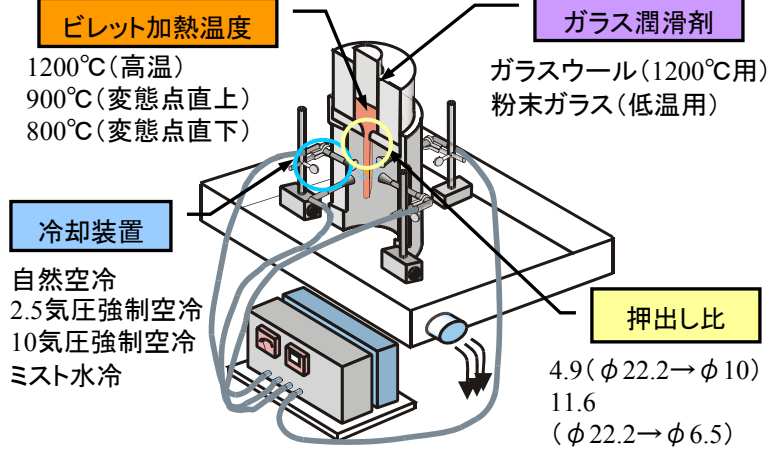
材料機能創成は変形加工に課せられた重要な課題である。材料機能と内部組織には密接な関係があり、鉄鋼材料の組織微細化に関して現在盛んに研究が行われている。これを実現する方策のひとつとして「強加工」が挙げられる。特に押し出し加工は圧延加工に比べて1パスで付与できる加工量が大きい。そのため、内部組織微細化に非常に有効であると考えられる。

本研究では熱間押し出し加工において、押し出し温度・冷却速度・押し出し比を変化させることにより内部組織制御を行う。さらに押し出し加工で創成された微細組織の機械的特性を測定し、本加工法による材料機能創成の可能性を示す。

## 内部組織創成理論

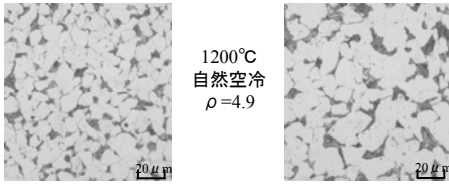


## 実験装置

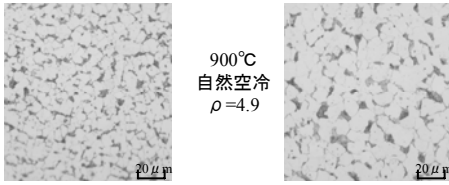


## 内部組織変化

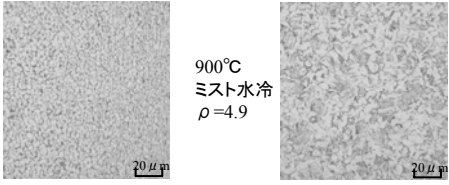
左: 表面部 (公称粒径 10.8 μm) 右: 中心部 (公称粒径 12.7 μm)



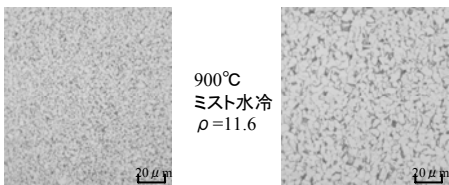
左: 表面部 (公称粒径 7.9 μm) 右: 中心部 (公称粒径 10.9 μm)



左: 表面部 (公称粒径 2.4 μm) 右: 中心部 (公称粒径 4.7 μm)

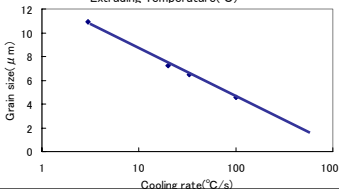
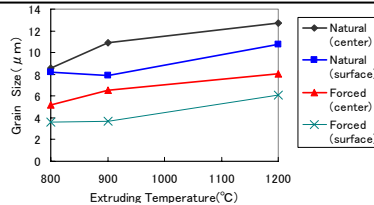


左: 表面部 (公称粒径 2.3 μm) 右: 中心部 (公称粒径 4.5 μm)



左図は高温 (1200°C) での押し出しである。初期フェライト粒径 (15 μm) よりも組織微細化が進行していることがうかがえる。また中心部と表面部では駆動力となるひずみ量が異なるため、公称粒径にも違いが見られる。

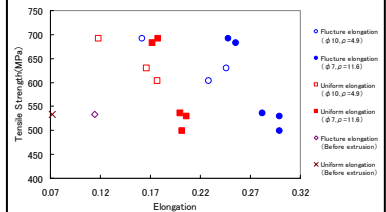
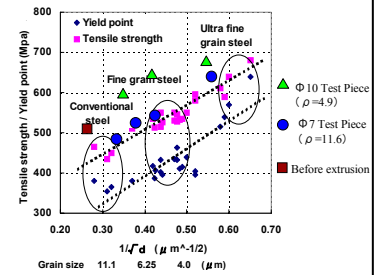
左下図は押し出し温度を下げた時の内部組織写真である。1200°C の押し出しに比べて組織微細化が進行していることがわかる。下のグラフは押し出し温度と結晶粒径の相関を示したものである。押し出し温度の低下に伴って結晶粒径は小さくなる。しかし、変態点より低い 800°C では全面がオーステナイト化されず不均一組織が生成しているため注意が必要である。



左上图はミスト水冷により冷却速度を上昇させた時の内部組織写真である。自然空冷時に比べて細かい組織が生成している。上図は冷却速度と公称粒径の相関を示したものである。冷却速度の上昇に伴い組織微細化が進行していることが分かる。しかし冷却速度の大幅な上昇に伴いマルテンサイト変態が起こるため、より微細なフェライト組織を創成するためには、マイクロアロイ添加などの他の組織微細化法と組み合わせる必要がある。

左図は押し出し比を上昇させた時の内部組織写真である。中心部で駆動力であるひずみが増加し、パーライトコロニーが消滅した均一組織が生成している。

## 改質鋼の機械的特性

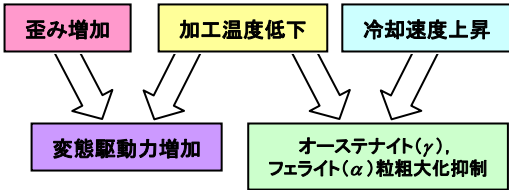


熱間押し出し加工で得られた試験片の機械的特性を同定するために引張試験を行った。上図は引張強度と結晶粒径の相関、下図は引張強度と均一または破断伸びとの相関を示したものである。パーライト分率の高いφ10試験片の方が引張強度が高く、延性が低くなっていることが分かる。この結果より、本加工法を用いることによって構造材料に必要なとされる機械的特性をフレキシブルに創成できることが示された。

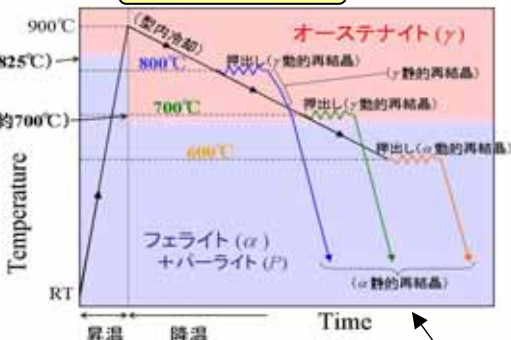
### 研究背景

内部組織微細化を利用して鉄鋼材料の機械的特性を向上させる研究が盛んに行われている。この超微細組織(UFG: Ultrafine Grain)を得るために、大歪みおよび高歪み速度を与える強加工(SPD: Severe Plastic Deformation)が有効であるとされている。連続加工法の中で押し出し加工(Extrusion)は圧延加工に比べ1パスで付与できる加工量がかかるに大きいため、微細組織創成に有用である。本研究では押し出し加工を用いてスーパーファイン鉄鋼素形材を一発で創成することを目的とする。加工温度を $\alpha$ - $\gamma$ 変態点( $A_{c3}$ / $A_{r3}$ )付近で変化させることによって創成される微細組織について述べる。またそれらの微細粒鋼の機械的特性を実測し、優れた材料機能を示す。

### 1. フェライト微細化メカニズム

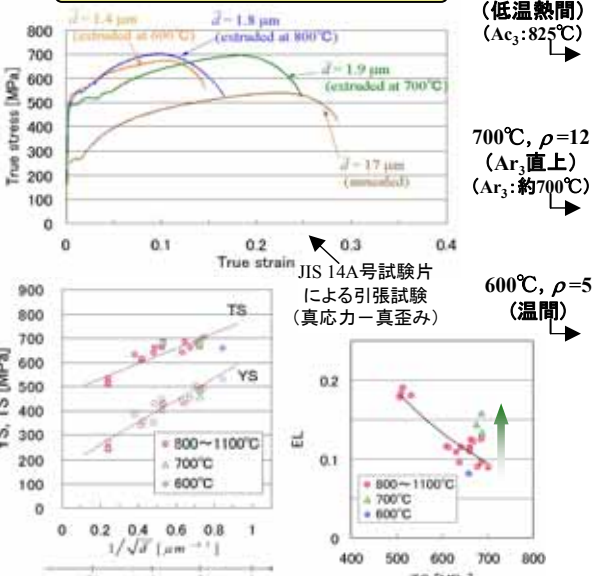


### 3. 押し出し実験概要



S20C (0.21C-0.47Mn-0.17Si-0.016P-0.014S) の加工と組織状態

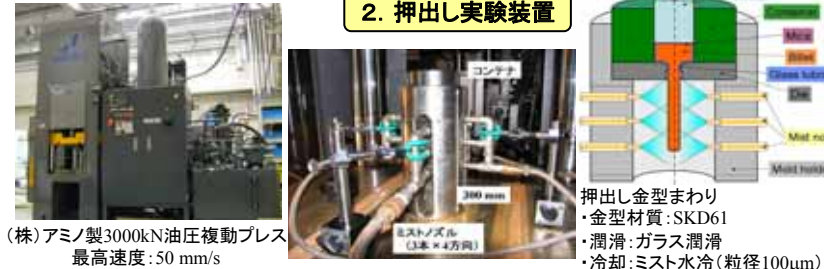
### 5. 押し出し微細粒鋼の引張試験結果



$\alpha$  粒径の $-1/2$ 乗に対する TS (引張強度)とYS (降伏強度) (600°C加工材は Hall-Petch 則から外れる)

700°C加工材の伸びの上昇 (EL: 均一伸び, TS: 引張強度) EL  $\times$  TS 値 最高10,000以上  
パーライトが離散的に存在するためか 押し出し集合組織が若干含まれるためか

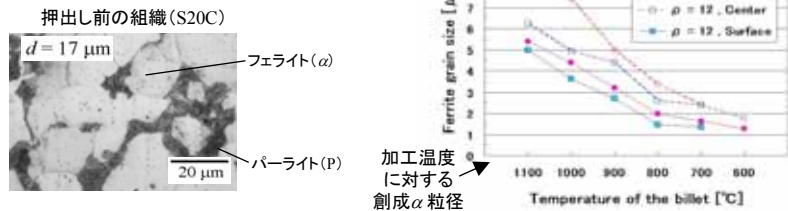
### 2. 押し出し実験装置



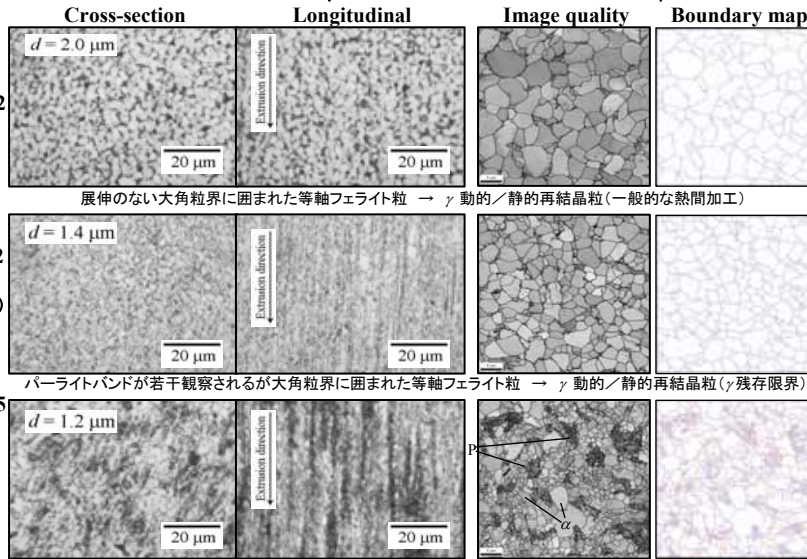
(株)アミノ製3000kN油圧複動プレス 最高速度: 50 mm/s

押し出し金型まわり  
・金型材質: SKD61  
・潤滑: ガラス潤滑  
・冷却: ミスト水冷 (粒径100 $\mu$ m)

### 4. 創成微細組織



### 光学顕微鏡像 (表面下100 $\mu$ m部)



### 6. まとめ

1パス超強加工である押し出しによってS20Cの $\alpha$ 粒微細化を図り、800°C以上の一般的な熱間加工から600°Cの温間加工まで温度を下げ、その微細組織変化と機械的特性を調査した。その見解を以下に示す。  
(1) 700°Cまでは $\gamma$ 再結晶を用いた熱間加工組織で、600°Cは $\alpha$ 再結晶を用いた温間加工組織であった。  
(2) 800°C/700°C/600°C押し出し材の平均フェライト粒径1~2 $\mu$ mの微細粒鋼の引張試験を比較すると、700°C押し出し材は700 MPaを維持し、均一伸びが800°C押し出し材の10%から最高15%と大きく向上した。600°C押し出し材は引張強度・均一伸びともに減少した。