# 熱間チューブガスバルジ成形における 温度分布と変形挙動

# 豊橋技術科学大学 前野 智美

自動車を軽量化するためにアルミ中空部品が採用されるようになってきている.管材の成形にはハイドロフォーミングがよく用いられているが,延性が低いアルミニウム合金管は破裂しやすく大きな拡管は容易ではない.アルミニウム合金は高温で変形すると,延性が向上して成形が容易になる.圧力媒体を液体ではなく,気体にすることで温度の制限をなくしたアルミニウム合金管の熱間ガスバルジ成形が行われている.この成形はハイドロフォーミングと似ており,内圧により管材を膨らませると同時に軸押しを加えて金型形状に成形している.管材を加熱しているため,ハイドロフォーミングよりもかなり低い圧力で拡管することができ,延性も向上しているため大きな拡管ができる,本講演では,アルミニウム合金管の熱間ガスバルジ成形における成形事例について説明する.

# 熱間チューブガスバルジ成形おける 温度分布と変形挙動

豊橋技術科学大学 前野

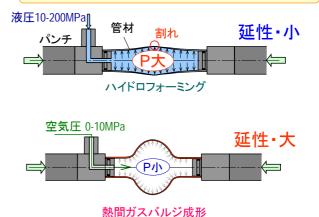
### • 熱間ガスバルジ成形

- 熱間ガスバルジ成形事例
- 成形装置内通電加熱熱間ガスバルジ成形
- 温度分布に及ぼす通電加熱条件の影響
- 通電加熱熱間ガス型バルジ
- 通電加熱シミュレーション

### 管材の成形加工

- -曲げ
- ・つぶし
- ・スエージング
- •変肉
- ・フランジ
- ・バルジー・冷間成形 ー・ハイドロフォーミングー・ゴムバルジー・電磁成形etc・爆発成形
  - 熱間成形 ・熱間ガスバルジー・変態超塑性バルジー
    - -・衝撃空圧利用熱間バルジ

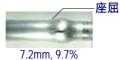
### ハイドロフォーミングと熱間ガスバルジ成形の比較



# 熱間ガスバルジと ハイドロフォーミングの張出し性の比較







s=0mm, r=10.2%

ハイドロフォーミング





リングなし r=125% v=25 /mm • s-1, s=30mm

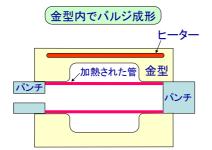
リングあり 132% 40 /mm • s-1, 36mm

熱間ガスバルジ

# 熱間ガスバルジ成形

#### 管の加熱





# 管の加熱方法

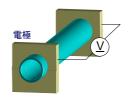
300

温度/℃

400

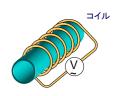
A6063高温引張試験結果

 $\dot{\epsilon} = 1.6 \times 10^{-3}$  $1.7 \times 10^{-1}$ 



100

200



500

100

20

006 600

#### 直接通電加熱

・加熱が速い

250

200

150

100

50

引張強さMPa

- ・電極への放熱がある
- ・前成形がされていても端 部をつかめば加熱できる

高周波誘導加熱

- ・加熱が少し遅い
- ・電極への放熱がない
- ・前成形がされている場合 コイルの設計が難しい

- 熱間ガスバルジ成形
- 熱間ガスバルジ成形事例
- 成形装置内通電加熱熱間ガスバルジ成形
- 温度分布に及ぼす通電加熱条件の影響
- 通電加熱熱間ガス型バルジ
- 通電加熱シミュレーション

### 国内における熱間ガスバルジ成形事例

ホンダ 2004年10月 レジェンドに搭載



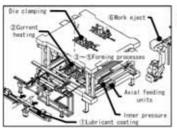


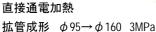


フロントサブフレーム

リヤサブフレーム

### 国内における熱間ガスバルジ成形事例





予備成形 最終成形



# 海外における熱間ガスバルジ成形事例



エアサスペンション ケース部品 アルミ合金 10MPa



サスペンション部品 アルミ合金

### 海外における熱間ガスバルジ成形事例

Hot metal gas forming 1999~2003 アメリカ

Tube hot forming Heat forming

2004~2007 伊·西·蘭

直接通電加熱

誘導加熱

2002~ 独 HEATform社





アルミ 2-6MPa サイクルタイム 22sec 予備加熱15sec



アルミ 2-10MPa サイクルタイム 17sec 予備加熱10sec

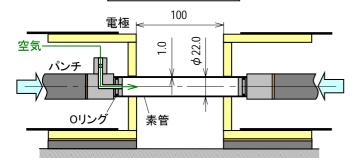




- 熱間ガスバルジ成形
- 熱間ガスバルジ成形事例
- 成形装置内通電加熱熱間ガスバルジ成形
- 温度分布に及ぼす通電加熱条件の影響
- 通電加熱熱間ガス型バルジ
- 通電加熱シミュレーション

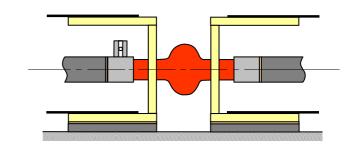
### 成形装置内通電加熱熱間ガスバルジ成形方法

初期内圧  $p_0$ =0.8MPa 通電容量 /=5.0kA 軸押し速度 ⊭0~40mm/s

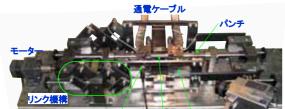


### 成形装置内通電加熱熱間ガスバルジ成形方法

初期内圧  $p_0$ =0.8MPa 通電容量 /=5.0kA 軸押し速度 /=0~40mm/s



### 成形装置内通電加熱熱間ガスバルジ成形装置外観



圧力センサ 管材 可動式電極 サーモグラフィ



### • 熱間ガスバルジ成形

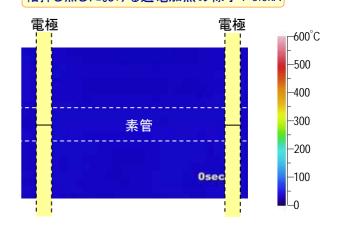
- 熱間ガスバルジ成形事例
- 成形装置内通電加熱熱間ガスバルジ成形
- 温度分布に及ぼす通電加熱条件の影響
- 通電加熱熱間ガス型バルジ
- 通電加熱シミュレーション

# 成形装置内通電加熱熱間ガスバルジ成形における フリーバルジ変形挙動

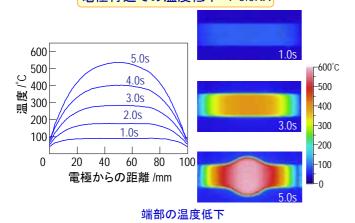
軸押し速度 v=20mm/s, ストローク s=24mm



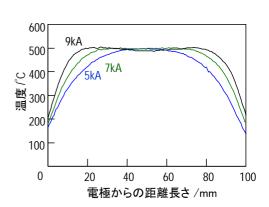
### 軸押し無しにおける通電加熱の様子 /=5.0kA

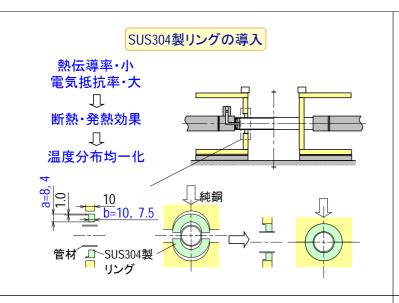


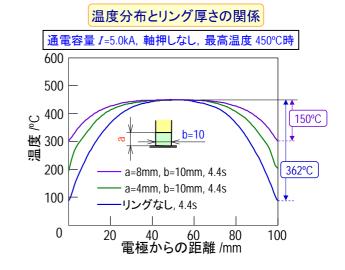
### 電極付近での温度低下 /=5.0kA

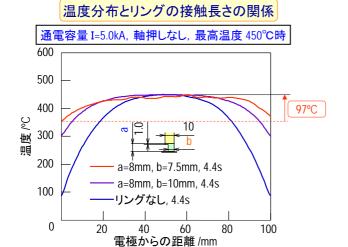


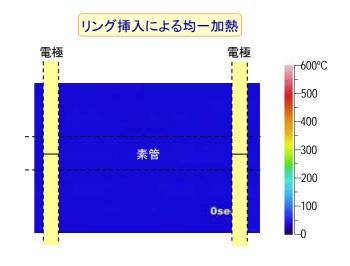
# 温度分布に及ぼす電流値の影響

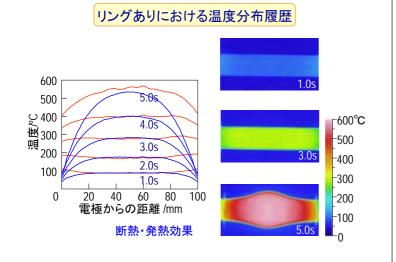


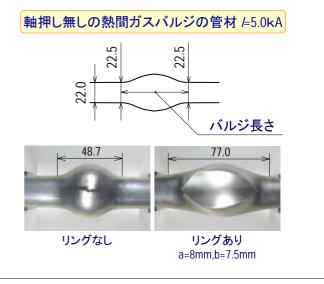












### 軸押しありの熱間ガスバルジの管材 /=5.0kA

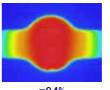


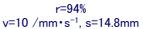
リングなし r=125%  $v=25 \text{ /mm} \cdot \text{s}^{-1}$ , s=30 mm

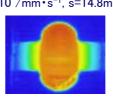


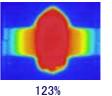
リングあり 132% 40 /mm • s<sup>-1</sup>, 32mm

### リングなしにおける破断時の形状





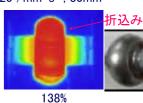




 $20 \text{ /mm} \cdot \text{s}^{-1}$ , 30 mm

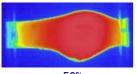


r=127% 25 /mm • s<sup>-1</sup>, 34.1mm

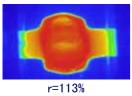


30 /mm • s<sup>-1</sup>, 44.6mm

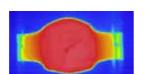
# リングありにおける破断時の形状



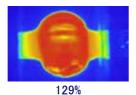
r=58% v=10 /mm • s<sup>-1</sup>, s=12.5mm



30 /mm • s<sup>-1</sup>, 33mm

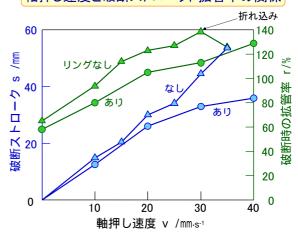


105% 20 /mm • s<sup>-1</sup>, 26.5mm



40 /mm • s<sup>-1</sup>, 36mm

### 軸押し速度と破断ストローク, 拡管率の関係

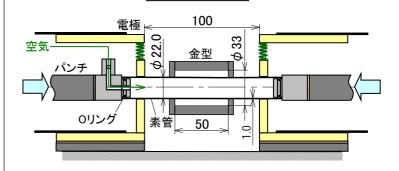


### • 熱間ガスバルジ成形

- 熱間ガスバルジ成形事例
- 成形装置内通電加熱熱間ガスバルジ成形
- 温度分布に及ぼす通電加熱条件の影響
- 通電加熱熱間ガス型バルジ
- 通電加熱シミュレーション

# 熱間ガス型バルジ成形

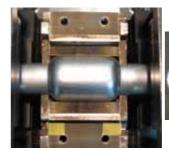
金型内径 φ33mm 50<sub>mm</sub> 拡管長 金型形状 円筒



# 熱間ガス型バルジ成形挙動



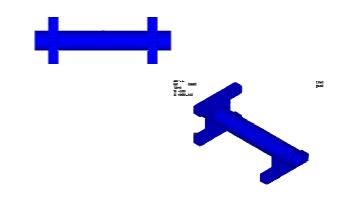
### 熱間ガス型バルジ成形結果 拡管率 50%



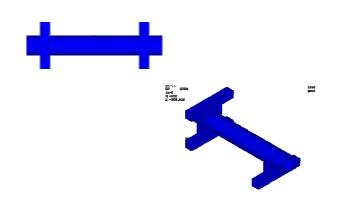


- 熱間ガスバルジ成形
- 熱間ガスバルジ成形事例
- 成形装置内通電加熱熱間ガスバルジ成形
- 温度分布に及ぼす通電加熱条件の影響
- 通電加熱熱間ガス型バルジ
- 通電加熱シミュレーション

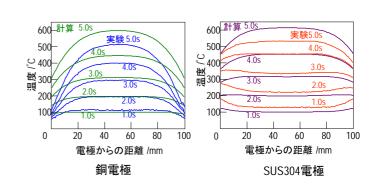
### 計算による銅電極における通電加熱の様子



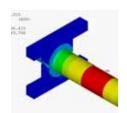
### 計算によるSUS電極における通電加熱の様子



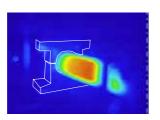
### シミュレーションによる温度解析と実験との比較 /=5.0kA



### シミュレーションによる温度と実験の温度が違う理由







銅電極 実験,5s

ケーブルやベースが含まれない ため電極温度が増加している



### まとめ

- •熱間ガスバルジ成形ではハイドロフォーミングの6倍以上の拡管率が得られた.
- ・SUS304製リングの導入およびリング形状の 最適化により均一加熱を可能とした
- •均一加熱により熱間ガスバルジ成形においてバルジ 長さが大幅に向上した.
- •通電加熱をシミュレーションする場合、電極のモデル化範囲が重要である.