

金型内通電加熱を用いた
熱間チューブガスバルジ成形



豊橋技術科学大学 前野

熱間ガスバルジ成形



熱間ガスバルジと
ハイドロフォーミングの張出し性の比較



拡管率 20%

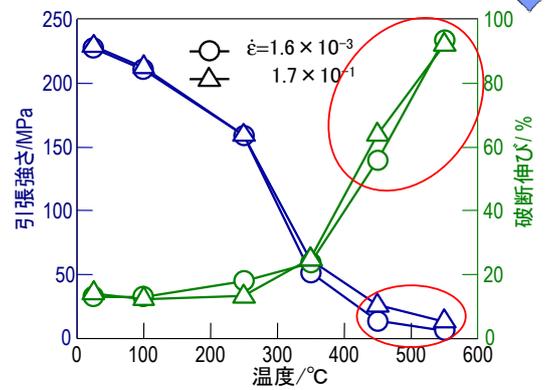
ハイドロフォーミング



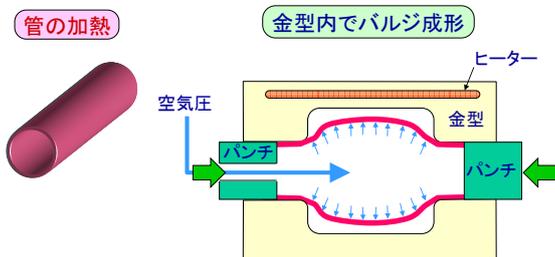
拡管率 132%

熱間ガスバルジ

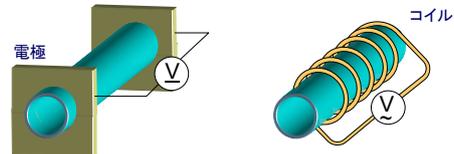
A6063高温引張試験結果



熱間ガスバルジ成形



管の加熱方法



直接通電加熱

- 安価
- 電極への放熱がある
- 電極設計が簡単
- 加熱効率が非常に高い

高周波誘導加熱

- 高価
- 電極への放熱がない
- コイル設計が難しい
- 直接通電加熱より少し低い

熱間ガスバルジ成形事例

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

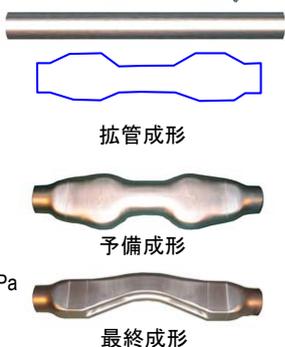
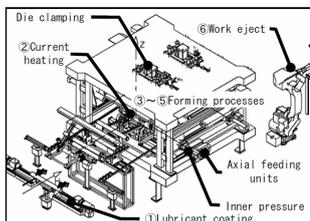


フロントサブフレーム



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



直接通電加熱

拡管成形 $\phi 95 \rightarrow \phi 160$ 3MPa

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



VW トウアレグ



ポルシェ カイエン



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

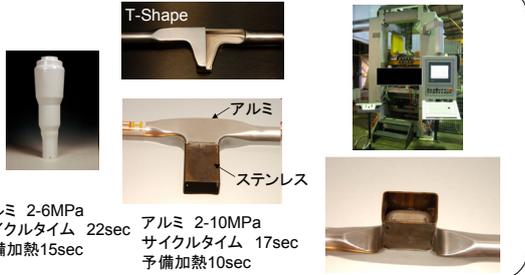
アルミ合金

HEAT form

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 誘導加熱
 Tube hot forming 2004~2007 伊・西・蘭 直接通電加熱
 Heat forming 2002~ 独 HEATform社 誘導加熱

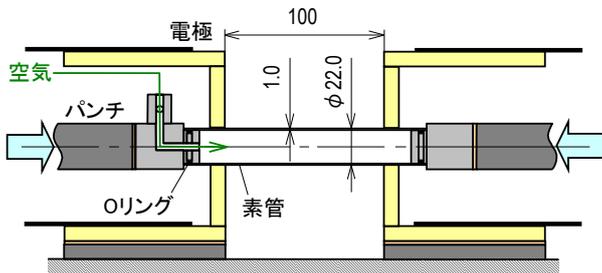
HEATform



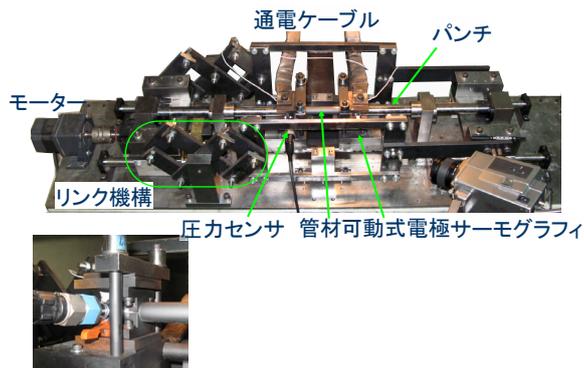
成形装置内通電加熱 熱間ガスバルジ成形

成形装置内通電加熱熱間ガスバルジ成形方法

初期内圧 $p_0=0.2-0.8\text{MPa}$
 通電容量 $I=3.0-9.0\text{kA}$
 軸押し速度 $v=0\sim 40\text{mm/s}$

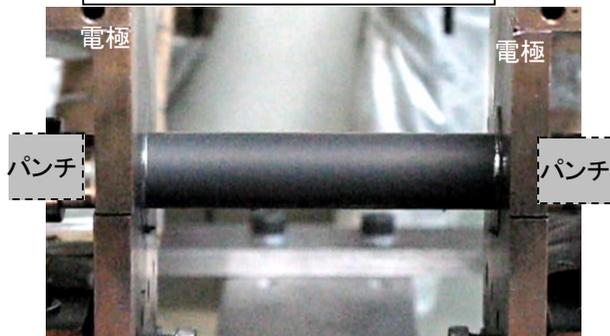


成形装置内通電加熱熱間ガスバルジ 成形装置外観

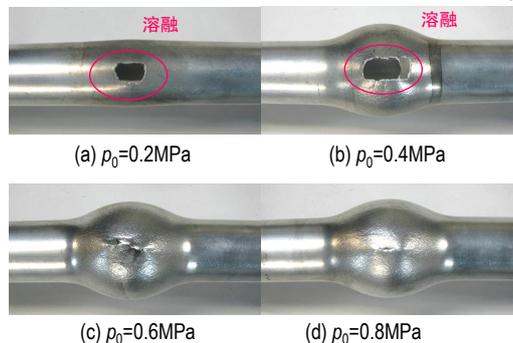


成形装置内通電加熱熱間ガスバルジ成形 おけるフリーバルジ変形挙動

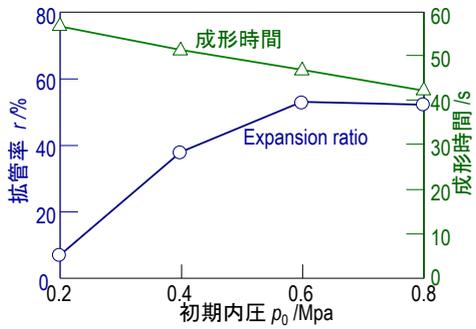
軸押し速度 $v=20\text{mm/s}$, ストローク $s=24\text{mm}$



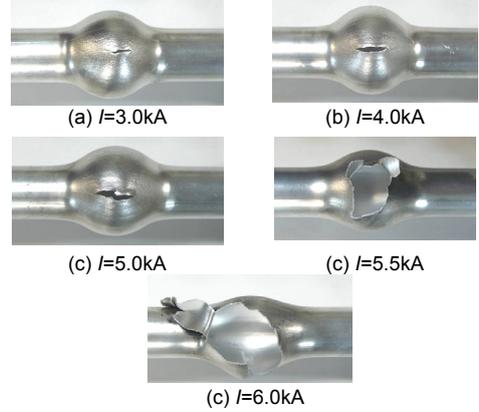
初期内圧が成形に及ぼす影響



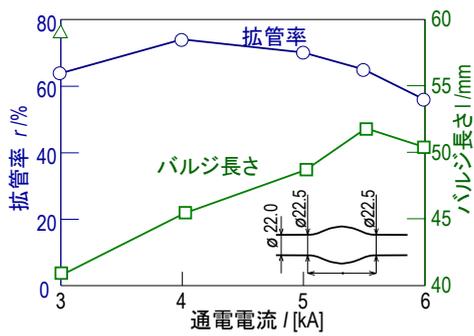
拡管率 r および成形時間と初期内圧の関係



通電電流が成形に及ぼす影響

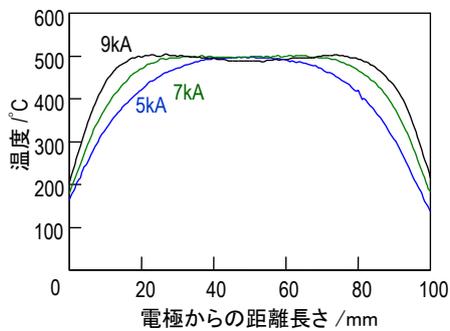


拡管率とバルジ長さに通電電流の影響

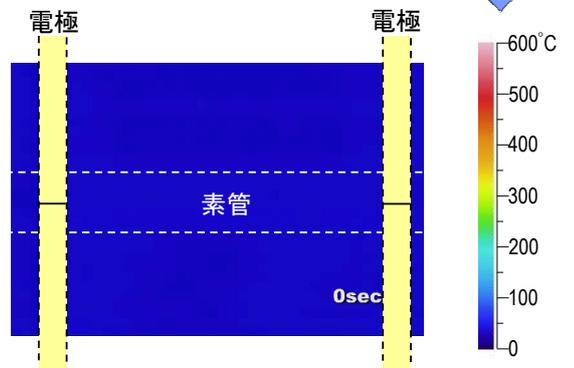


温度分布に及ぼす通電加熱条件の影響

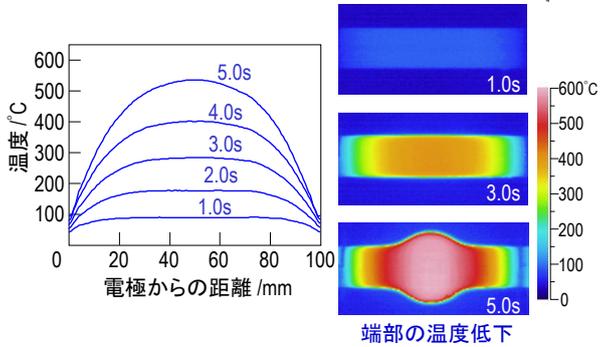
温度分布に及ぼす電流値の影響



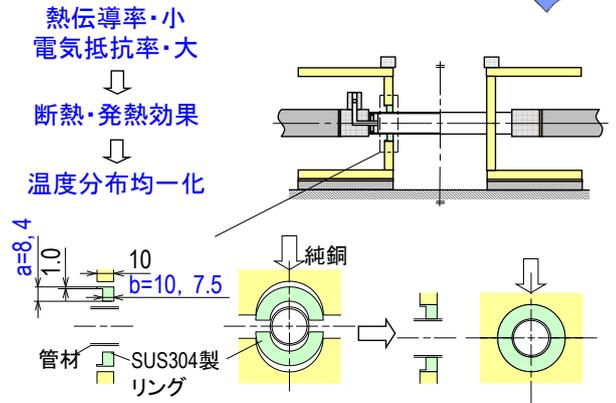
軸押し無しにおける通電加熱の様子 $I=5.0kA$



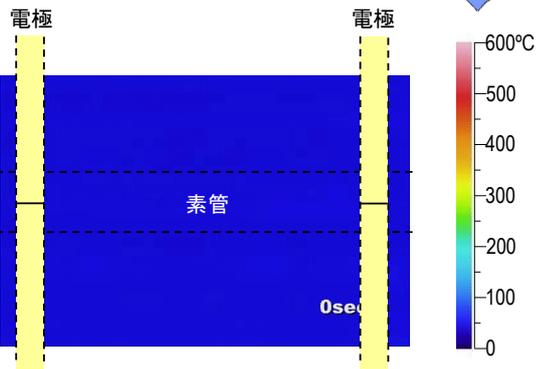
電極付近での温度低下 $I=5.0\text{kA}$



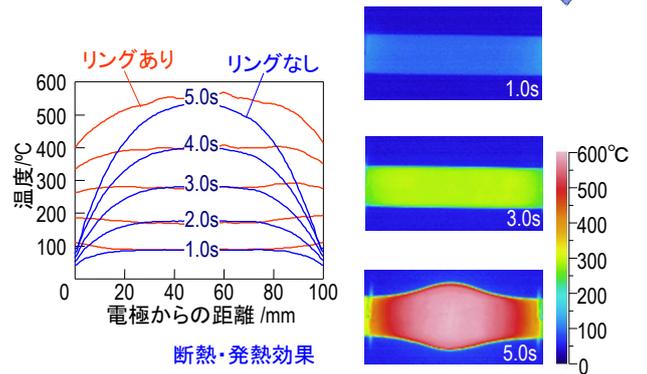
SUS304製リングの導入



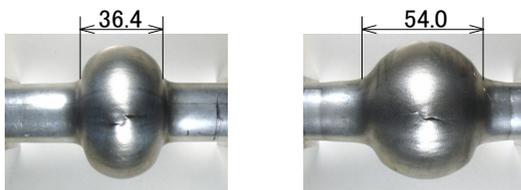
リング挿入による均一加熱



リングありにおける温度分布履歴



軸押しありの熱間ガスバルジの管材 $I=5.0\text{kA}$



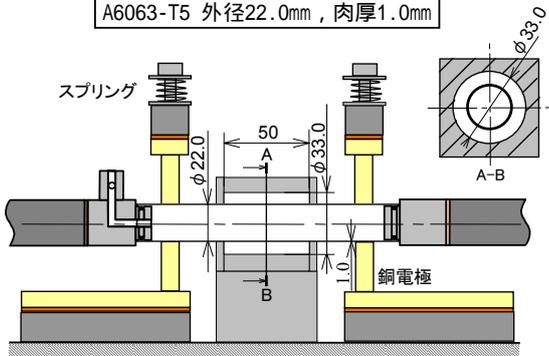
リングなし $r=125\%$
 $v=25 / \text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$, $s=30\text{mm}$

リングあり 132%
 $40 / \text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$, 32mm

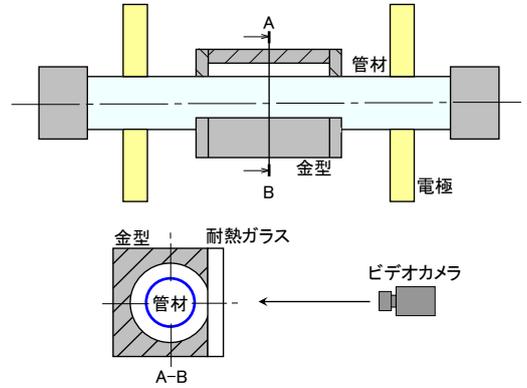
通電加熱熱間ガス型バルジ

熱間ガス型バルジ成形方法

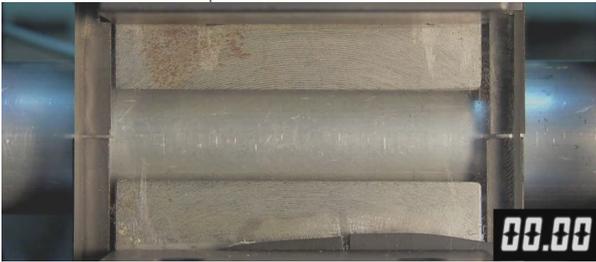
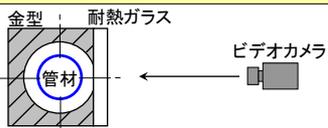
A6063-T5 外径22.0mm, 肉厚1.0mm



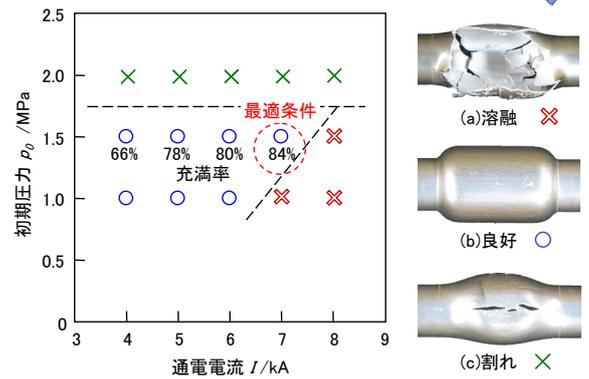
変形挙動測定用金型



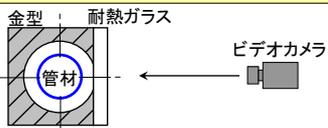
熱間ガス型バルジ成形



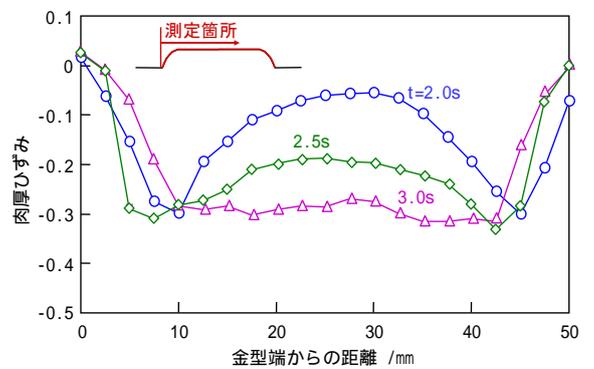
成形形状に及ぼす初期圧力と通電電流の影響



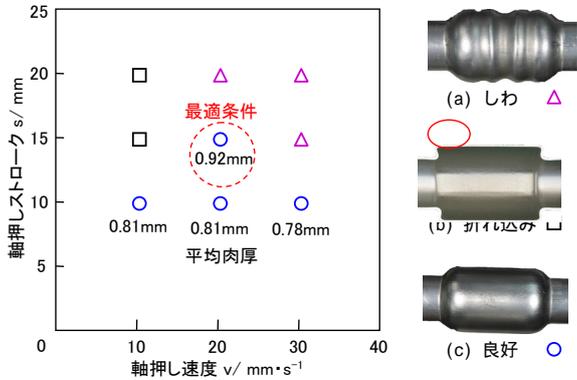
軸押しありの熱間ガス型バルジ成形



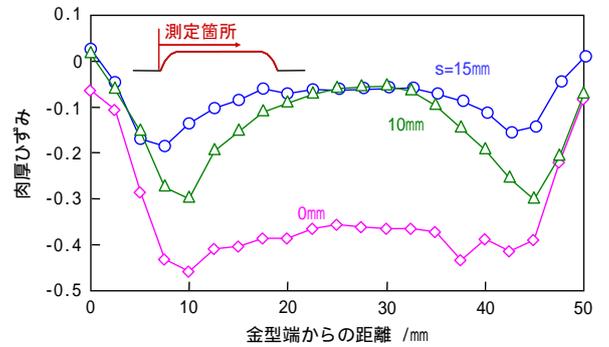
肉厚ひずみに及ぼす軸押し開始時刻の影響 (v=20mm/s, s=10mm)



成形形状に及ぼす軸押し速度と軸押し量の影響

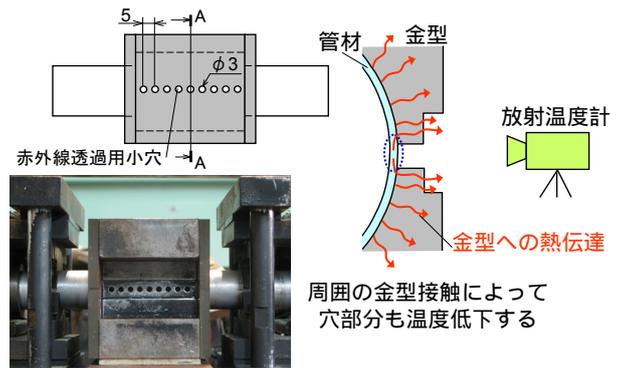


肉厚ひずみに及ぼす軸押し量の影響



温度低下防止による 充填率の向上

小穴による金型内の管材温度測定方法

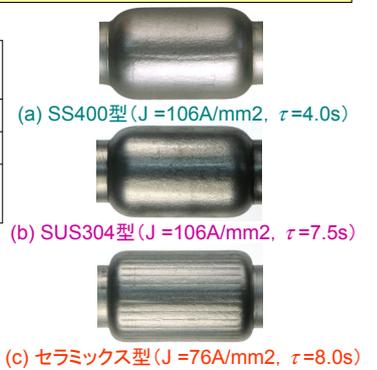


金型内の管材の温度測定

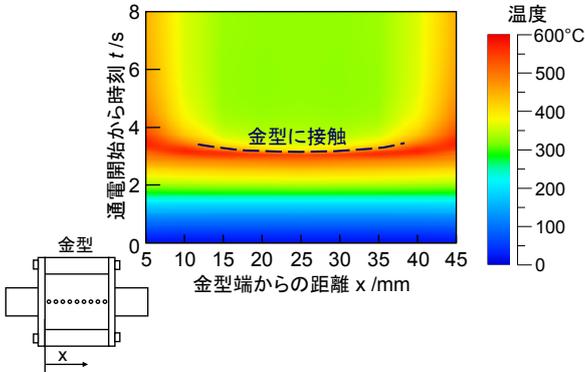


低熱伝導型と電流密度増加による 温度低下防止

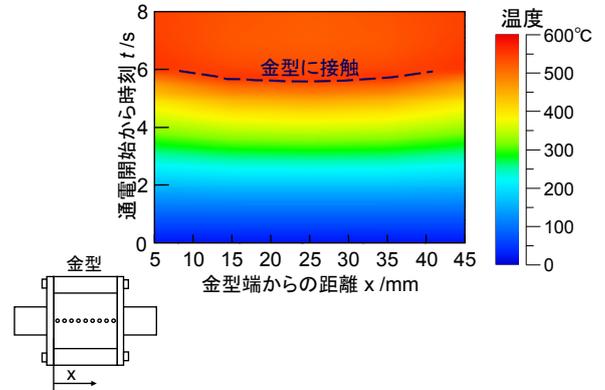
型材質	熱伝導率 (W/mK)
SS400	51.6
SUS304	16.3
セラミックス (ホットボール)	1.7



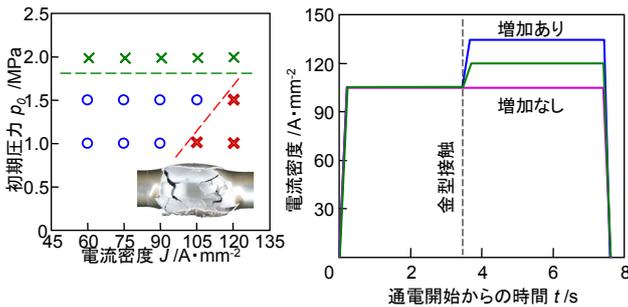
金型内の管材の温度履歴 SUS金型 ($J=106\text{A/mm}^2$, $t=7.5\text{s}$)



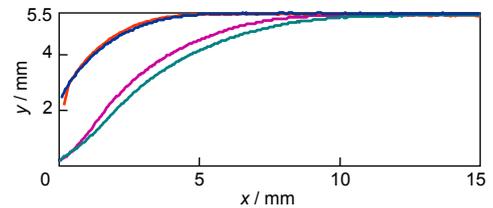
金型内の管材の温度履歴 セラミック ($J=76\text{A/mm}^2$, $t=8.0\text{s}$)



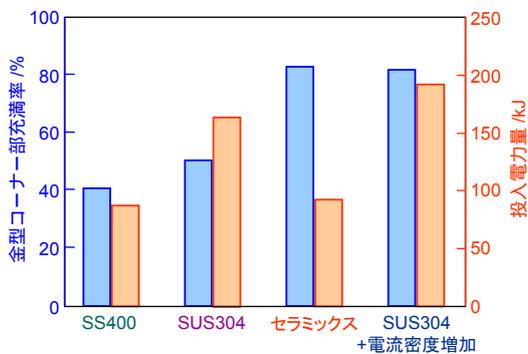
電流密度増加による温度低下防止



各温度低下防止方法によって 得られた製品断面形状



各温度低下防止方法による 金型角部充満率と投入電力量



まとめ

- 熱間ガスバルジ成形は冷間のハイドロフォーミングに比べ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を行い、均一加熱が可能となりバルジ変形範囲を拡大することができた。
- 軸押しを拡管前に行うことで、肉厚ひずみを減少できた。
- 軸押しを行うことで肉厚ひずみを約30%低減できた。
- 金型材質、及び通電方法を最適化することで管材が金型に接触したときの温度低下を防止して金型充満率を向上することができる。