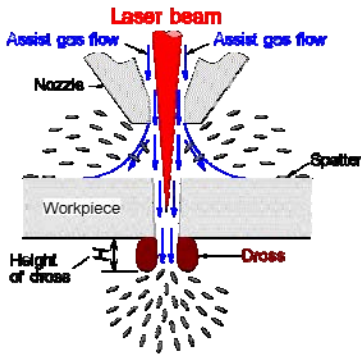


# レーザー加工における高品位精密切断加工用超音速アシストガスノズルの開発

## 1 課題



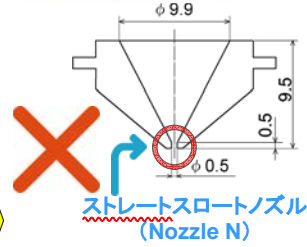
**レーザー切断加工**  
レーザー光と同軸方向にアシストガスを噴出させて溶融物の排出を補助

YAGレーザーの基本波(波長1064nm)による切断加工ではスパッタやドロスの付着が問題

スパッタは防止剤の塗布で抑制可能だが、ドロスは材料表面に強固に付着

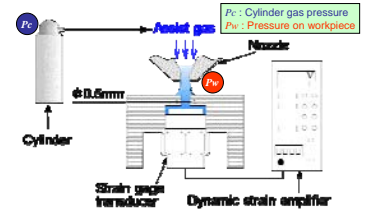
一般にノズルから高圧のアシストガスを噴出させてドロスを低減

## 2 現状

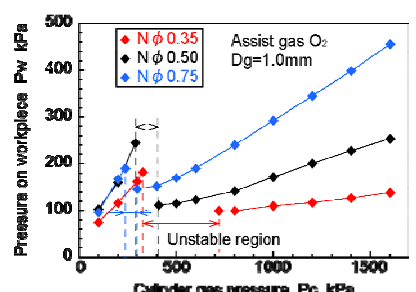


ストレートスロットノズル (Nozzle N)

一般的な上記のようなストレートスロットノズルでは元圧(ポンペ圧 $P_c$ )を大きくしても加工点における圧力(試料上ガス圧 $P_w$ )は元圧の半分以下と圧力損失大

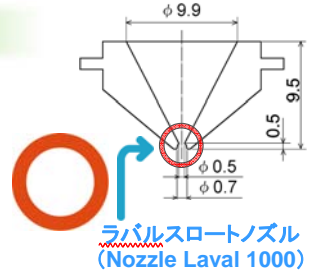
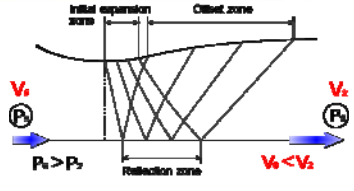


試料上ガス圧の測定方法



試料上ガス圧とポンペ圧の関係

## 4 新ノズル開発



ラバルスロットノズル (Nozzle Laval 1000)

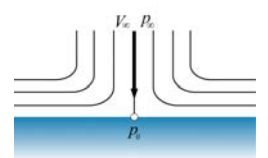
供給圧力 $P_0$ より排出圧力 $P_2$ の方が低くなるものの、亜音速流 $v_0$ をノズル出口にて超音速 $v_2$ に加速可能

## 3 発想

よどみ点における圧力 " $p_0$ "

$$p_0 = p_{\infty} + \frac{1}{2} \rho V_{\infty}^2$$

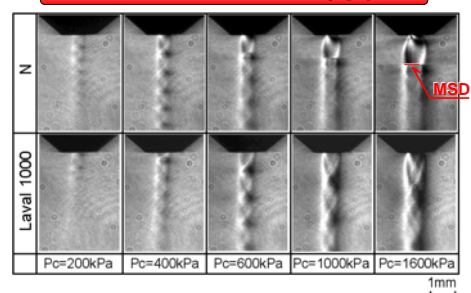
静圧      動圧



流速 $V_{\infty}$ を大きくすることで加工点における圧力を増大

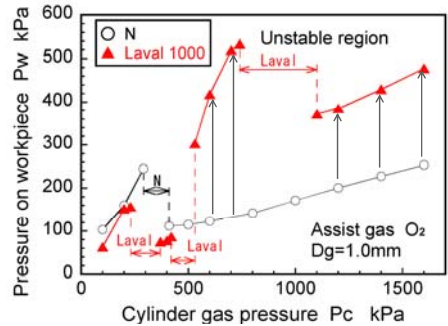
## 5 新ノズルの成果

### アシストガスの特性



アシストガス流のシュリーレン写真

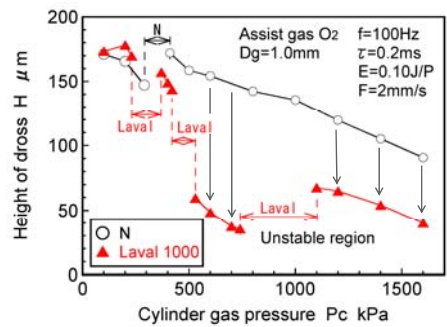
自由噴流にて垂直衝撃波面(MSD)の発生を抑制



試料上ガス圧とポンペ圧の関係

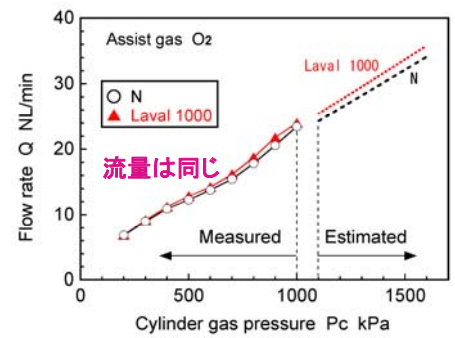
試料上ガス圧が増大

### ラバルスロットノズルを用いたSUS304 (t=0.15mm) のYAGレーザーによる切断加工



ドロス高さ と ポンペ圧 の 関係

中低圧におけるドロスの除去能力が向上

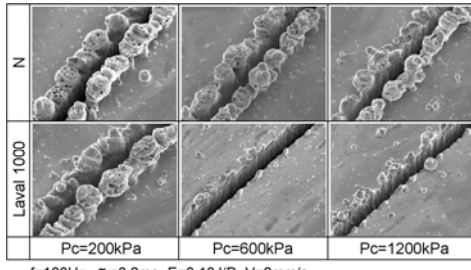


流量とポンペ圧の関係

ラバルスロットノズルによりアシストガスのエネルギーを効果的に利用でき、試料上におけるアシストガス圧力が増大。

その結果、消費流量は同等でもドロスの低減能力が高く、中低圧領域で高圧領域以上の効果が得られる。

したがって、アシストガスの消費流量を抑えながらYAGレーザーによる精密切断加工が可能となる。

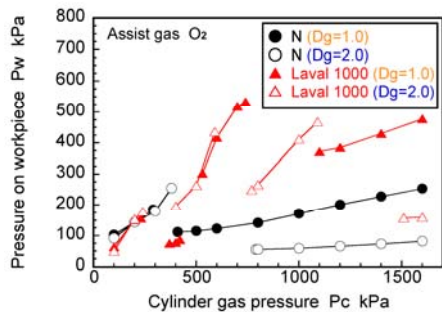


材料表面におけるドロスのSEM写真

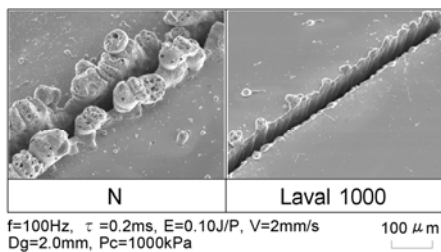
# レーザー加工における高品位精密切断加工用超音速アシストガスノズルの開発

## ギャップ距離の影響

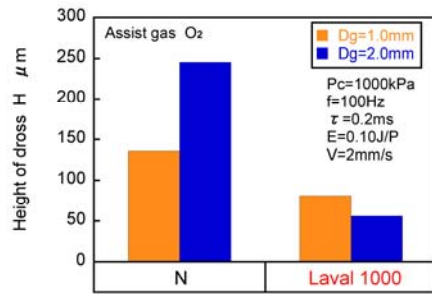
SUS304 (t=0.15mm) 切断加工



試料上ガス圧とポンペ圧の関係



材料表面のドロスのSEM写真

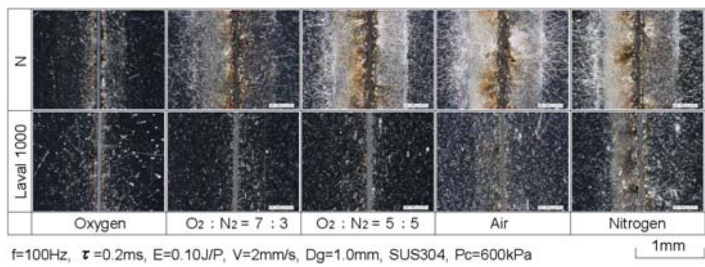


ドロス高さの比較

★ ギャップ距離が増大してもドロスの除去能力を維持

## 酸素濃度が材料表面の変色に及ぼす影響

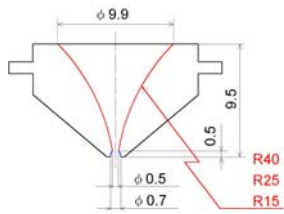
SUS304 (t=0.15mm) 切断加工



★ ドロスの付着が少ないことから切断部近傍の変色が少ない

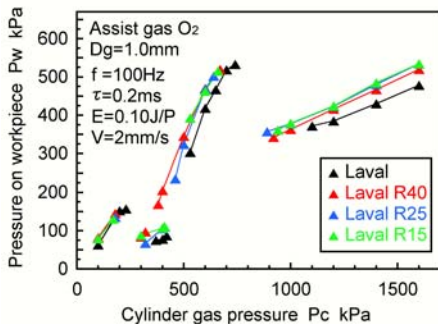
## 内部テーパ部円弧の影響

SUS304 (t=0.15mm) 切断加工



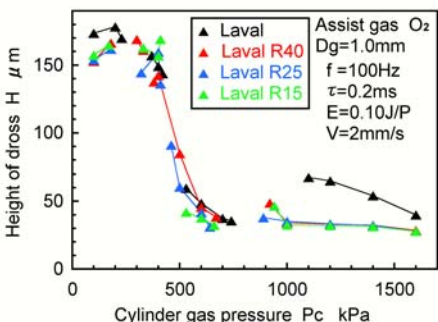
Nozzle Laval 1000 において内部テーパ部を直線から R15, R25, R40mmの円弧に変更し、以下のように表記。

- Nozzle Laval → Laval
- Nozzle Laval R15 → Laval R15
- Nozzle Laval R25 → Laval R25
- Nozzle Laval R40 → Laval R40



試料上ガス圧とポンペ圧の関係

Nozzle Laval R の方が不安定領域の範囲が短い。また、各ポンペ圧における試料上ガス圧は、Nozzle Laval よりも Nozzle Laval R の方が高い。

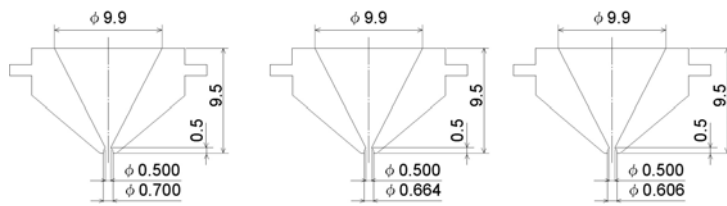


ドロス高さとのポンペ圧の関係

Nozzle Laval R は Nozzle Laval よりドロス高さを低く抑え、特に 1000kPa 以降においてその効果が高いが、円弧大きさの違いによる顕著な差は無い。このように内部テーパ部に円弧をもうけることで、ラバルスロートノズルの効果を増すことが可能である。

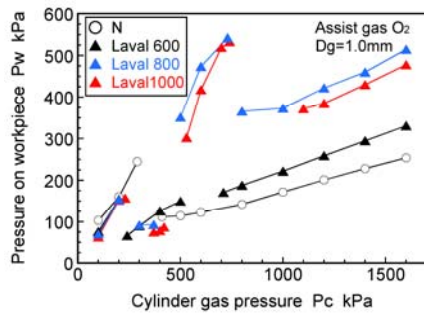
## 設計圧力の影響

SUS304 (t=0.15mm) 切断加工



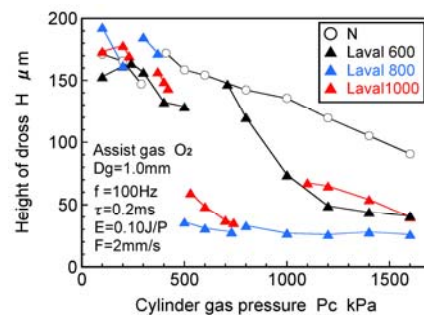
(a) Nozzle Laval 1000 (b) Nozzle Laval 800 (c) Nozzle Laval 600

適正膨張となる設計圧力 1,000, 800, 600kPa と変化



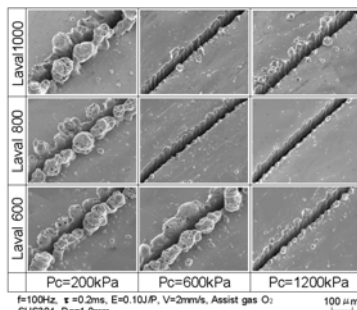
試料上ガス圧とポンペ圧の関係

Nozzle Laval 800 が試料上ガス圧が最も高く、最大の試料上ガス圧を示すポンペ圧も若干であるが Nozzle Laval 1000 よりも低圧側ヘシフトしている。また Laval 3 種の中では Nozzle Laval 800 が試料上ガス圧が変動する不安定領域の発生範囲も短い。



ドロス高さとのポンペ圧の関係

ポンペ圧 500kPa 以上では Nozzle Laval 800 がドロス高さが最も低い。Nozzle Laval 1000 ではポンペ圧 1100kPa 程度でドロス高さが大きくなるが、Nozzle Laval 800 で安定したドロス低減効果が得られている。



材料表面のドロスのSEM写真

SEM写真からも明らかにように Nozzle Laval 800 のドロス低減能力が優れている。このように、ラバルスロートノズルはノズル設計圧力を変化させることで更なるドロス低減の可能性がある。