

# Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 세라믹의 미세구멍 가공시 가공조건과 보조가스가 미치는 영향

윤혁중\*, 이광길\*\*, 이동주\*\*\*

## The influence of processing condition and assistance gas in microhole machining of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramics

Hyuck. Joong. Youn\* , Kwang. Gil. Lee\*\* , Dong. Ju. Lee\*\*\*

### Abstract

This research is a described result of experimental for the parameter's effecting the microhole machining by Nd-Yag laser. The parameters are energy, pulse, interval time, a kind of assisting gas and its pressure. The result reveals that parameter value of energy 0.08J, pulse 20Hz, interval time of 300 microseconds could be a good machining condition to make upper microhole. that is the diameter range of 50-70 $\mu$ m. At that time the assistant gas such air, O<sub>2</sub>, Ar, N<sub>2</sub> was applied. Assistant gas of air makes heat affected zone enlarge due to burning of material surface. Also it makes microhole irregular and damageable. Because of refusion caused by chemical reaction with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic material. The O<sub>2</sub>(99.9%) has good characteristic to get good drilling and smooth surface on pressure of 0.2kgf/cm<sup>2</sup>, but it is expensive. Ar, N<sub>2</sub> make material crack and burning and proved that to be unappropriate but, Ar was a better than N<sub>2</sub>.

**Key Words :** Microhole(미세구멍), Interval time(조사시간), Assisting gas(보조가스)

### 1. 서 론

레이저에 의한 미세구멍가공은 소재표면에 고밀도의 에너지빔을 집속·조사하여 이때 용융기화된 부분을 연소

또는 승화작용에 의해 구멍가공을하게 된다. 보조가스는 렌즈보호와 가공 보조의 역할을 겸하는데, Ar, N<sub>2</sub> 등의 불활성 가스를 사용하여 승화에 의해 가공하는 경우와 air, O<sub>2</sub> 등의 산화가스를 사용한 연소 반응을 이용하는 경우

\* 대전기능대학 금형학과  
\*\* 한국산업안전공단  
\*\*\* 충남대학교 기계공학과

가 있다.  $Al_2O_3$  같은 세라믹은 기계적 성질은 우수한 반면, 깨지기 쉽고<sup>1)</sup> 가공상 난삭재로 알려져 왔으며, 레이저에 의한 구멍가공 방법으로는 조사된레이저 빔으로 증발을 시켜 승화 제거하는 방법과 용융후 가스 압력으로 불어내는 가공하는 연소반응 방법<sup>2)</sup>이 있다. 레이저를 이용한 구멍가공에 있어 가공변수로는 레이저 빔<sup>3)</sup>, 가공속도<sup>4)</sup>, 보조가스<sup>5-6)</sup>, 초점거리<sup>7)</sup> 등이 있으며 이에 대한 연구들이 활발히 진행되어 왔다. 본 연구에서는 Probe 기관에 사용되는  $Al_2O_3$  세라믹의 레이저 미세구멍가공에 대한 가공조건, 보조가스 종류, 보조가스 압력 등이 미치는 영향에 대하여 실험하였다.

## 2. 실험방법

본 실험에서는 미세구멍 가공의 최적조건을 찾기 위해 레이저 에너지, 가공주파수, 조사시간 등을 가공변수로 하였고, 가공변수의 가변범위는 레이저 에너지 0.05~0.25J, 가공주파수 10-50Hz, 조사시간 100~500  $\mu$ s로 하였으며, 보조가스의 종류, 가공압력과 공급방법 등의 변화를 주면서 가공구멍의 형상과 크기, 열영향부등을 측정·평가하였다. 가공시료는  $Al_2O_3$ (96%), 크기는  $114 \times 30$  t=500 $\mu$ m이며, 실험장치는 영국 Lumonics사의 Nd-YAG레이저로 발진파장 1.06 $\mu$ m, 최대평균출력 35W, 펄스당 최대에너지 1.5J(B.E.T 3J), 펄스반복율 50Hz, 펄스 Duration 0.1m.sec이다. 냉각장치는 공랭식 분리형으로 수온안정도가  $\pm 1.5^\circ C$ 이며, 가공두께는 0.001~4mm, 미세구멍가공 크기는 0.003mm 이상이고, 최대 가공속도 50 hole/sec 이다. 측정장치는 미국 Alessi사의 광학현미경 REL-3200A를 이용하였고, 시료의 사진은 미국 ROI사의 optical measurement inspection system으로 Resolution 0.001-0.0002mm 이고, Video monitor는 5X-8000X까지 가능한 장비를 이용하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 가공 변수에 따른 가공형상

Fig. 1은 레이저를 이용하여 미세구멍 가공시 레이저 빔의 진행상태를 보여주는데, 이때, 레이저 빔은 구멍 내벽에서 재 반사가 이루어지며 이 재반사에 의한 가공은 에너지의 굴절을 가져오고 이 때문에 빛은 직진 성을 가지나 실제 가공에 있어서는 그렇지 못하므로 깊은 구멍 가공에 있어서는 재 반사도 고려해야 된다고 알려져 있다.

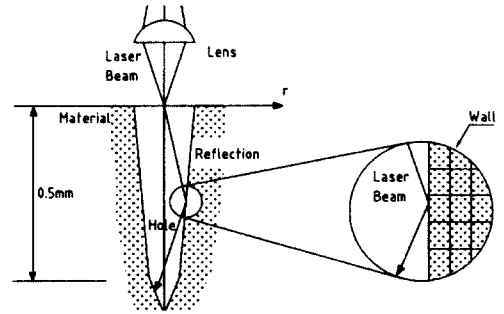


Fig. 1 Ray trace of simulation mode<sup>8)</sup>

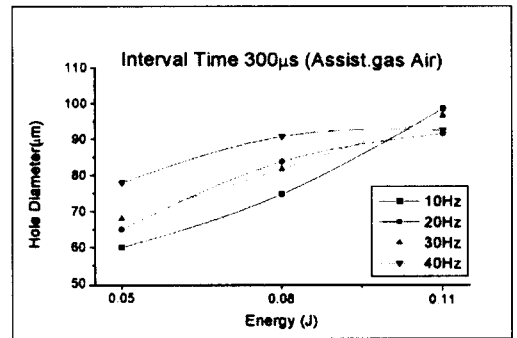


Fig. 2 Upperhole on Energy and Pulse

에너지와 주파수를 변화시키면서 조사시간 300 $\mu$ s로 미세구멍 가공한 결과를 뒀면 구멍가공 결과를 Fig. 2에 나타냈다. 실험결과뒀면 구멍에서는 에너지는 0.08J, 주파수는 20Hz, 30Hz에서 비교적 양호한 결과를 나타내고 있다.

아래구멍에서의 미세구멍 가공에서는 10Hz에서는 미가공 구멍들이 나타나고 있으며, 가공 결과들이 불규칙 하지만 20, 30, 40Hz에서 양호한 결과를 보이며 0.11J에서 비교적 양호한 결과를 얻었지만 0.11J에서는 뒀면 구멍이 너무 커서 실험 목적과는 편차가 심한 결과를 얻어, 에너지와 주파수는 0.08J, 20~30Hz에서 비교적 적합하다고 판단된다.

가공조건을 변화 시켜가면서 얻은 미세구멍치수를 요약 정리하여 그린 것이 Fig. 4인데, 가공조건 범위는 O : 0.05J, × : 0.08J, △ : 0.11J의 레이저 에너지로, 주파수는 30Hz, 조사시간 300 $\mu$ s, 보조가스 Air일 때의 미세구멍가공 구멍형상을 보여주고 있다. 실험목적인 뒀면구멍 75 $\mu$ m, 아래구멍 50 $\mu$ m정도의 미세구멍 가공에 적합한 가공조건은

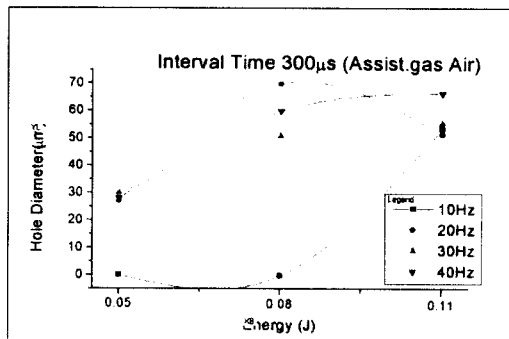


Fig. 3 Lowhole on Energy and Pulse

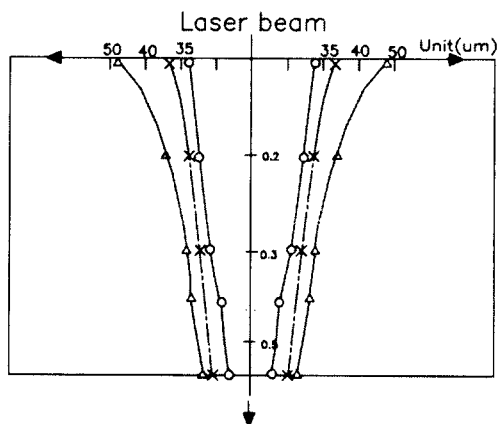


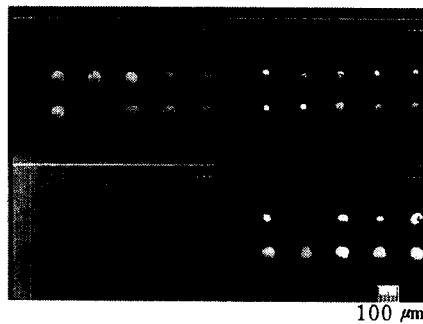
Fig. 4 Simulated of microhole features

레이저 에너지 0.08J, 주파수 30Hz, 조사시간 300 $\mu$ s에서 윗면 82 $\mu$ m, 아래면 51 $\mu$ m 정도로 나타나서 비교적 양호한 결과를 얻었으며, 이것을 도식화 한 것이 Fig. 4 이다.

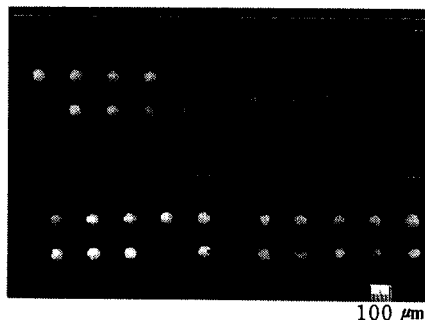
### 3.2 보조가스가 미세구멍특성에 미치는 영향

보조가스의 종류는 air, O<sub>2</sub>, Ar, N<sub>2</sub>를 사용하여 실험하였고, 이때 가공조건은 레이저 에너지 0.08J, 주파수 20Hz로 하고, 조사시간을 각 300 $\mu$ s, 500 $\mu$ s로 하여 조사시간에 따른 미세구멍의 특성의 직경 및 형상을 사진으로 비교하여 Fig. 5 에 나타냈고, 보조가스압은 1kgf/cm<sup>2</sup>로 하였다.

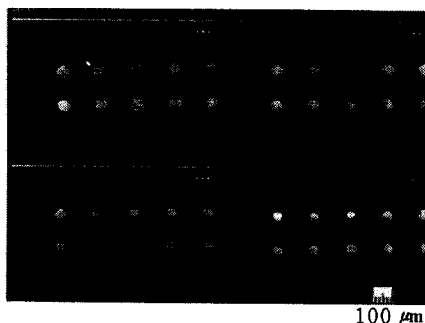
주파수 20Hz로 선택한 것은 비교적 미세구멍크기가 30Hz보다 작았기 때문이다. Fig. 5의 사진에서 윗면구멍의 왼쪽상단 첫 번째 구멍의 아래구멍은 오른쪽 상단 우측 끝에 있는 것이며, 이는 사진촬영 과정에서 뒤집어 찍



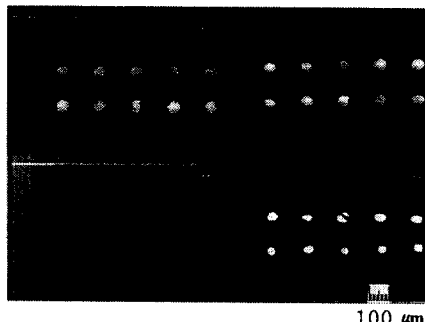
(a) Photo of machined holes use Air



(b) Photo of machined holes use O<sub>2</sub>



(c) Photo of machined holes use Ar



(d) Photo of machined holes use N<sub>2</sub>

Fig. 5 Dependence of hole on various kinds of assistance gas at interval time 300 $\mu$ s

었기 때문이다. Fig. 5 (a)는 Air를 사용한 결과로써 구멍 크기가 일정하지 않고, 용융후 슬래그가 달라붙고 표면상태가 까맣게 변하는 현상도 약간 있으며, 매끄럽지 못한 것을 볼 수 있는데, 표면 형상이 까맣게 나타나는 현상은 유리나 세라믹 같은 비정질 재료가 용융상태에서 N<sub>2</sub>가 혼입하여 나타나는 현상으로 N<sub>2</sub>와 Air를 사용할 때 주로 나타났으며 N<sub>2</sub>에서 좀더 심하게 나타났다. 윗부분은 조사시간 300 $\mu$ s이고, 아랫부분은 조사시간 500 $\mu$ s이며, 왼쪽은 소재 윗면의 구멍형상을, 오른쪽은 소재 아랫면의 구멍형상을 나타낸다. 실험결과 레이저 빔의 조사시간이 길면 구멍형상이 크고, 특히 아랫면에서 크고, 불규칙한 형상으로 가공됨을 알 수 있었고, 현미경 분석 과정에서도 조사시간이 길면 열 영향부위가 넓고 깊게 나타남을 확인할 수 있었다.

Fig. 5(b)에서는 O<sub>2</sub>를 사용한 결과 구멍형상이 매끄럽게 나타나고 까맣게 되는 현상도 줄어든 반면 레이저 빔의 조사시간 300 $\mu$ s, 500 $\mu$ s를 비교한 결과 소재 윗면의 구멍형상은 거의 차이가 없는데, 아랫면의 구멍형상은 크기의 편차가 크고 형상이 매우 불규칙하였다.

또한 미가공된 부분은 수백 개의 구멍 가공시에도 나타나는데, 에너지를 증가시키던가, 주파수를 증가시켜야만 재 가공되었고, 구멍형상이 커짐을 발견할 수 있었다.

Fig. 5의 (c)와 (d)는 불활성 가스인 Ar와 N<sub>2</sub>를 사용하여 실험한 결과인데 Fig. 5(c)의 왼쪽 상단부는 조사시간 500 $\mu$ s, 하단부는 조사시간 300 $\mu$ s일 때의 가공상태이며, 용융현상은 air나 O<sub>2</sub>보다 적으나 균열이 발생하고 있으며, 아랫면의 구멍형상은 조사시간 500 $\mu$ s에서 구멍형상이 커짐을 볼 수 있다. Fig. 5의 (d) N<sub>2</sub>역시 균열이 나타나고 까맣게 되는 현상이 심하게 나타나는 것을 확인하였다.

Fig. 6과 Fig. 7에서는 조사시간 300 $\mu$ s과, 500 $\mu$ s에서 보조가스 종류별 가공상태를 보여주는데, 보조가스 사용시, 용융후 붙어내기 때문에 재용고 과정에서 구멍편차가 크게 나타나며, 보조가스 없이 가공된 면은 구멍형상의 편차가 적게 나타나지만, 구멍주위에 균열이 나타나고, 슬래그의 재 용착으로 인하여 표면 상태가 양호하지 못하였다. 조사시간 300 $\mu$ s에서는 윗면과 아랫면의 구멍 편차가 비교적 크고 테이퍼가 심한 반면, 조사시간 500 $\mu$ s에서는 윗면과 아랫면의 편차가 적게 나타났다. 이것은 조사시간이 길면 윗면에서의 미세구멍의 편차는 적으나, 아래구멍에서는 조사시간이 길면 구멍의 크기가 증가함을 알 수 있었고, 보조가스 없이 실험한 결과는 조사시간 300 $\mu$ s와, 500 $\mu$ s에서 미세구멍의 윗면과 아랫면의 편차가 큰 것으

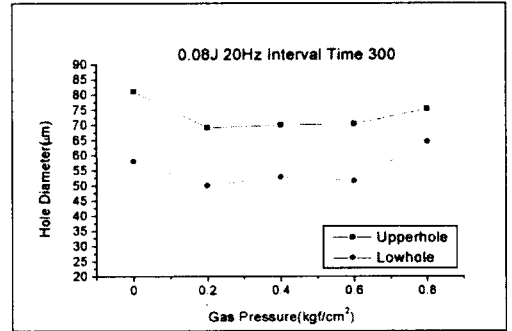


Fig. 7 Dependence of hole diameter on various kinds of assistance gas at interval time 500 $\mu$ s

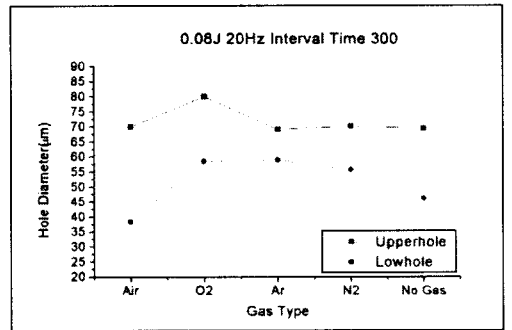


Fig. 6 Dependence of hole diameter on various kinds of assistance gas at interval time 300 $\mu$ s

로 보아 보조가스를 사용하는 것과 사용하지 않을 때에 보조가스를 사용한 것이 아랫면 구멍이 증가하는 것을 발견할 수 있었다.

Fig. 8과 Fig. 9에서는 보조가스로 O<sub>2</sub>를 사용하여 공급 방법을 상방향 공급과, 상공급 하흡입 방법으로 실험하였고, 압력의 변화를 0~0.8kgf/cm<sup>2</sup>로 선택하여 압력의 변화에 따른 미세구멍의 특성을 실험하였다. 보조가스의 공급 방법을 Fig. 8은 상방향에서 공급하고, Fig. 9는 상방향공급 하방향 흡입방법의 가공결과를 보여준다. 즉 보조가스의 압력실험에서는 상방향 공급과, 상방향 공급 하방향 흡입에서 보조가스압이 0.2~0.6kgf/cm<sup>2</sup>정도에서 비교적 양호한 결과를 얻었으며, 상방향에서의 공급 방법이 비교적 양호한 결과를 나타내고 있다. 즉, 가스공급 방법에서는 상방향 공급보다 상공급 하흡입 방법이 아래구멍 형상에서 편차가 심하게 나타났다.

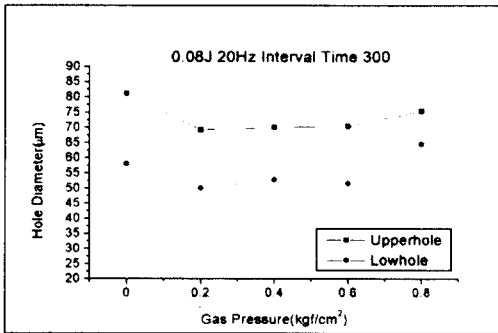


Fig. 8 Dependence of hole diameter on gas supply pressure of upper directions

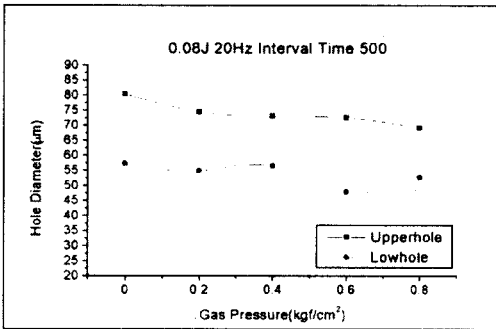


Fig. 9 Dependence of hole diameter on gas supply pressure of upper and low directions

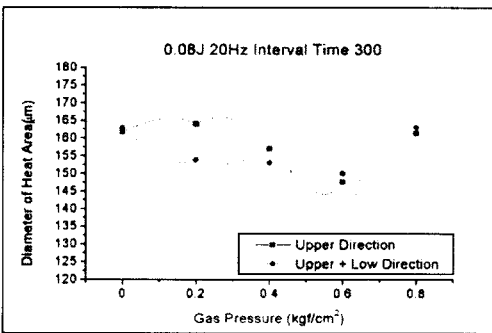


Fig. 10 Dependence of heat effect area on gas supply pressure of upper and low direction

Fig. 10에서는 조사시간 300 $\mu$ s로 보조가스를 상방향 공급과, 상방향 공급 하방향 흡입으로 실험한 결과로 열영향부를 측정 평가한 결과인데, 상방향 공급보다 상공급 하흡입 방법으로 보조가스를 공급한 것이 열영향부의 크기편차가 크다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 열 영향부는 영역의 크기만을 측정하였고, 열 영향부의 깊이는 측정하지 못했지만 분석과정에서 보조가스의 압력이 높을수록 열영향부의 범위는 그다지 증가하지 않았지만, 압력이 증가할수록 깊게 패임 현상이 증가하는 것을 알 수 있었다.

보조가스로 O<sub>2</sub>를 사용하고, 압력을 0.2kgf/cm<sup>2</sup>로 설정하고 실험한 것을 광학 현미경으로 측정 평가한 결과에서는, 열에 의한 손상이 거의 표가 나지 않을 정도로 열영향이 적고 매끄러운 표면 상태가 되었으며, 보조가스의 압력이 커질수록 구멍의 크기는 변화가 적지만 열영향부에서 깊이가 깊어진다는 것을 알았고, 보조가스의 압력은 0.2~0.6kgf/cm<sup>2</sup> 정도에서 상방향에서 공급하는 것이 비교적 양호하다는 결과를 얻었다.

결국, 표면상태의 열영향부를 줄이기 위해서는 보조가스의 압력이 낮아야 되지만, 너무 낮으면 미가공 구멍이 발생할 우려가 있기 때문에, 에너지, 주파수, 조사시간, 보조가스의 종류 및 압력 등이 미세구멍 가공에 미치는 영향들에 대하여 이들의 상관 관계는 명확하게 규명할 수는 없었지만, 미세구멍 가공시 나타나는 일반적인 경향들은 파악할 수 있었다.

#### 4. 결 론

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 세라믹 박판의 미세구멍 가공에 있어서 가공조건, 보조가스의 종류 및 압력이 미치는 영향에 대하여 실험한 결과는 다음과 같다.

- (1) 알루미늄 세라믹(96%)의 미세구멍가공의 적절한 가공조건은 레이저 에너지 0.08J, 주파수 20Hz~30Hz, 조사시간 300 $\mu$ s, 보조가스 종류 O<sub>2</sub>, 가스압력 0.2~0.6 kgf/cm<sup>2</sup>로 나타났다.
- (2) 가스의 공급방법은 상방향 공급과 하방향흡입, 상방향 공급으로 실험한 결과 상방향 공급과 하방향 흡입 방법은 미세구멍의 편차가 심하여 상방향에서 공급하는 것이 미세구멍 가공에서 양호한 결과를 얻었다.
- (3) 보조가스의 종류별 실험과, 가스공급이 없이 가공한 결과는 가스공급이 없는 경우는 크기가 비교적 일정한 구멍을 얻었으나, 형상이 매끄럽지 못하였고,

가스압이 높은 경우는 용융후 재응고 과정에서 수축편차가 심하고, 가공구멍의 형상이 깊게 파였으며, 아래구멍에서도 편차가 비교적 심하였고, 미세구멍 가공시 소재 표면의 열 영향에 의한 손상 상태의 규명에서는 보조가스  $O_2$  인 경우 압력이  $0.2\text{kgf/cm}^2$  일 때 가장 적게 나타났다.

## 참 고 문 헌

- (1) Paek, u.-c. and Gagliano, F.P., "Thermal Analysis of Laser Drilling Processes", IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. QE-8, pp.112~119, 1972.
- (2) Von Allmen, M., "Laser Drilling Velocity in Metals" Journal of Applied Physics, Vol. 47, pp.5460~5463, 1976.
- (3) Risch, T.K. and Lanb, B., "General Model for Thermochemical Ablation into avacuum", Journal of the mophysics and Heat Transfer, Vol.4, No3, pp. 278~284, 1990.
- (4) Bang, S.Y. and Modest, M.F., "Multiple Reflection Effects on Evaporative Cutting With a Moving CW Laser", ASME Journal of Heat Transfer, Vol.113, No.3, pp.663~669, 1991.
- (5) Chen, S. L., and Steen, W. M., "The Theoretical Investigation of Gas Assisted Laser Cutting", In the Proceedings of ICALEO', 9l, pp.221~230, 1992.
- (6) S. J. NA, "Effect of Shielding Gas Pressure in Laser Cutting of Sheet Metals" ASME, Vol.111, pp.314~318, 1989.
- (7) Borkin, A.G., Drobyazko, S.V., Levchenko, E.B., Senatorov, Y.M., and Turygin, A.Y., "Self-focusing and Waveguide Propagation of Radiation in the Case of Deep Penetration of a Metal by a Laser Beam" Soviet Journal of Quantum Electronics, Vol. 15, pp. 1515~1523, 1985.
- (8) 森田 昇, 桑田 隆, "セラミックスのレーザー穴あけにおける焦点位置が加工穴形状に及ぼす影響" journal of the Ceramic Society of Japan 102, (2) 1994, pp. 189~193.