

図 2.1-7 気相法ダイヤモンド合成装置

2.2 工業用ダイヤモンドと経済

いかなる材料であっても、経済原則を無視した応用はあり得ない。ダイヤモンドツール、すなわち加工工具用としてダイヤモンドやBNのごとき、いわゆる超砥粒をみると、2つの観点を設定すべきである。第1は機能の面である。ある被削材料がダイヤモンドを用いる以外に適切な加工方法が少ない場合が第1の例に属する。セラミックス、岩石、コンクリート、ガラス、種々の結晶質材料では、ダイヤモンドはほぼ唯一の加工工具材料である。このような例では、適用材種の需要にほぼ比例してダイヤモンドの需要が伸びる。適用材種の需要量を nB 、その加工度を mB とすると、ダイヤモンドの消費量 A は

$$A = nB * mB$$

である。

第2の例は、ダイヤモンド以外の工具でも加工はできるが能率など他の因子が異なる場合である。ダイヤモンド工具を用いるメリット M は、コスト的にみて、

$$M = a \frac{k_1 l_1}{l_2} - b \frac{k_2 l_2}{l_1}$$

ただし、 a, b は定数で、 k, l, t は各々、工具コスト、工具寿命、および所要加工時間である。ここで1の添字はダイヤモンド以外の工具を使用した場合であり、2の添字はダイヤモンド工具の場合である。

一般に、 $k_1 < k_2, l_1 < l_2, t_1 < t_2$ と考えられるので、ダイヤモンドの高コスト k_2 にみあう工具寿命 l_2 が付与できれば、ダイヤモンド工具を使用するメリットが出てくる。Al-Si合金の切削などはこの例に属しており、第1の例と同様に、この面で有利な適用材種の伸びが出れば、ダイヤモンドの消費量は増加する。最近のダイヤモンドの消費量の伸びは第1要因と第2要因がともに作用していると考えられるが、筆者は第1要因のほうが効果的になっているという印象をもっている。

第2要因が効果を発揮するには、ダイヤモンド砥粒、あるいは焼結体工具のコストが急激に低下しなくてはならない。ダイヤモンドの製造コストを支配している要因は複雑で、製造プロセスの諸因子と関連している。工具用ダイヤモンドの90%以上を製造している静的超高压法での製造コスト Y は、次のようである。

$$Y = \left\{ \left(\frac{S}{tN} \right) + K_a + B + P \right\} / W$$

ただし、 S は製造コスト、 t は償却年数、 N は年間の稼働回数、 W は1回当りの生産量、 K_a は1回当りの装置部品の消耗率(円)、 B は1回当りの炉体などの部品コスト、 P は1回当りの人件費である。すなわち、 Y は単位重量当りの生産コストである。このうち、 K_a, B 、および S の要因がコストに大きく影響する。装置コストを下げることに、WCなどの交換部品の価格を下げ、寿命を増加させること、および、毎回使用し消耗する炉体などの部品価格をできるかぎり下げることが重要である。それでも現在のように、砥粒によっては販売価格が約800円/gと低下している現状では、かなりコストバランスが悪化していると思われる。砥粒コストについては上記のとおりであるが、焼結工具では若干要因が異なる。焼結工具の製造コストに比べて、市場価格はかなりゆとりがあり、需要量さえ伸びればかなり有望な製品である。ただし、現状ではブランクから刃先工具に加工する切断、研削コストが高く、この点を解決しないとコスト低下がはかれない。

新素材商品化のラーニング曲線においては、まず少量多種類の製品が登場する。その後、主力需要の定着を待って、多量生産とコスト減少の時期に入る。ダイヤモンドの場合、新素材とばかりとらえることはできず、むしろ第1期の少量多様、広範囲の用途開拓が遅れている。それは、ダイヤモンド粉末の価格が高いと

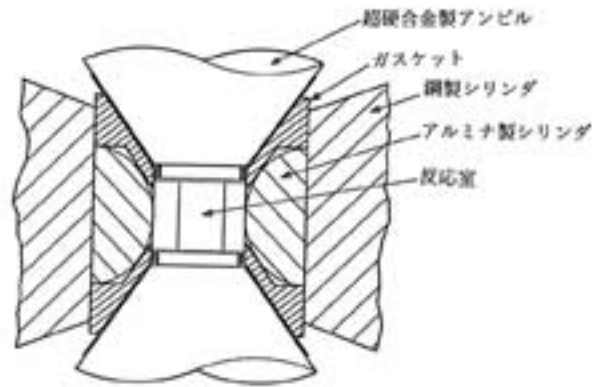


図 2.1-5 2重シリンダ高圧装置

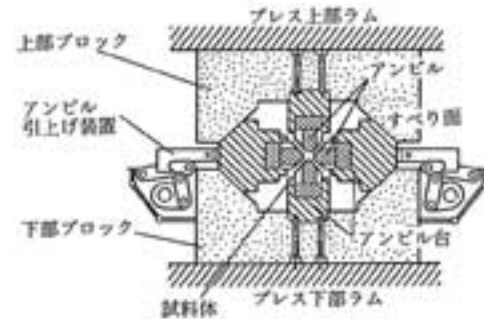


図 2.1-7 斜面を利用した六面体高圧装置

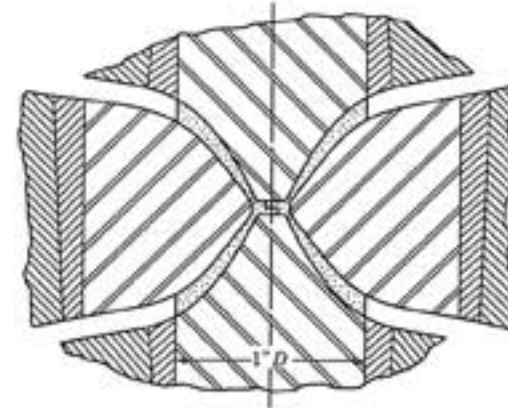


図 2.1-9 ハイコンプレッションベルト形装置

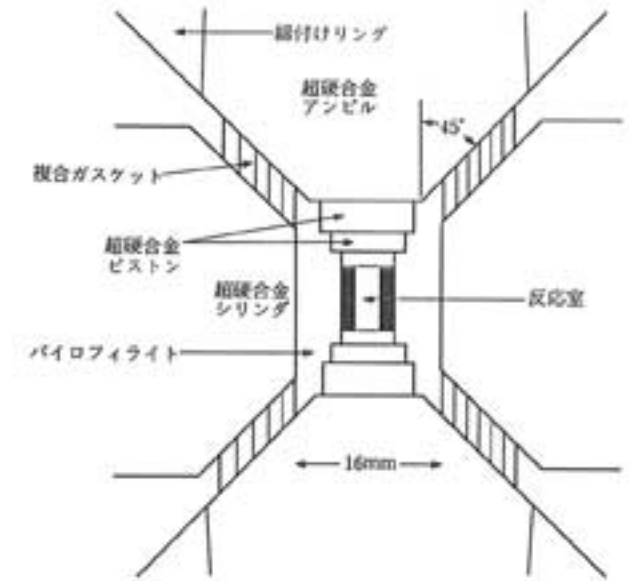


図 2.1-10 改良ガードル形超高压装置

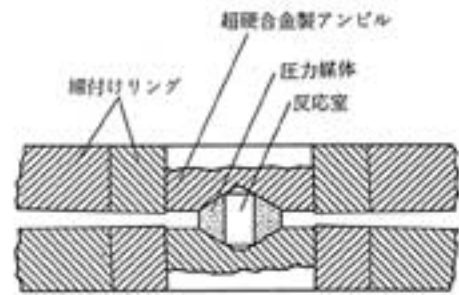
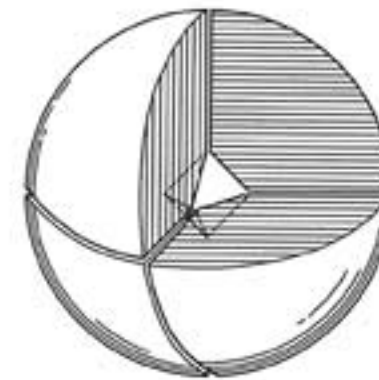


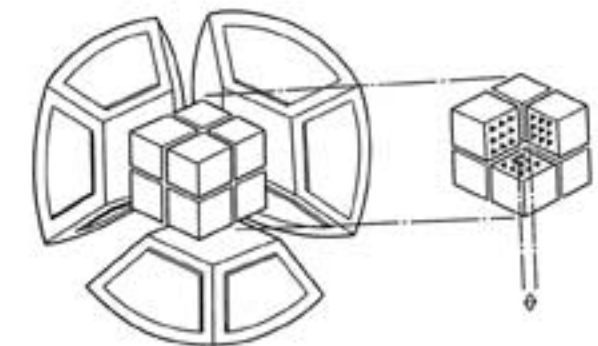
図 2.1-6 対向アンビル形高圧装置



図 2.1-8 ピストン-シリンダ形高圧装置



(a) 8分割



(b) 6~8形

図 2.1-11 分割球装置

るので、1回ごとの使い捨てになる場合もある。

(3) 対向アンビル形高圧装置

おもにソ速で工業生産用に使われており、図2.1-6の断面図にみられるように、向かいあったアンビルの先端面にくぼみを設けて試料室としている。装置が上下のアンビルだけであるので、構造が簡単で操作性のよいのが特徴である。

(4) マルチアンビル形高圧装置

マルチアンビル形装置は、4、6、8個などの多数の截頭ピラミッド形のアンビルの先端で囲まれた多面体の試料室をもつ装置で、各アンビルは同期して中心点に向かって駆動され、試料室を圧縮する構造となっている。室温では、すべての物質が固体になってしまう高圧を用いる反応において、マルチアンビル形装置では、試料に加わる圧力が静水圧に近いのが大きな利点

であり、焼結体の作製に適している。

この形式の装置で最も広く用いられているのは、6個のアンビルを用いてサイコロ状の試料を圧縮する六面体装置である。図2.1-7は、アンビルの同期性の優れた装置であって、水平方向のアンビル群が上下のアンビルの進行に伴って摺動によって進行する構造になっている¹²⁾。水平方向のアンビル群が、リンク装置によって同期駆動する装置¹³⁾も開発されている。これらの装置において、各アンビルの先端部近くの傾斜面は、ガスケットを介して相互に押しつけあっており、応力支持による補強がなされている。

(5) ストレートピストン-シリンダ形高圧装置

上記した各装置ほど広くは用いられていないが、円柱状のストレートピストンを用いた装置でも、ダイヤモンド合成が可能である。図2.1-8は、Kennedyの装置

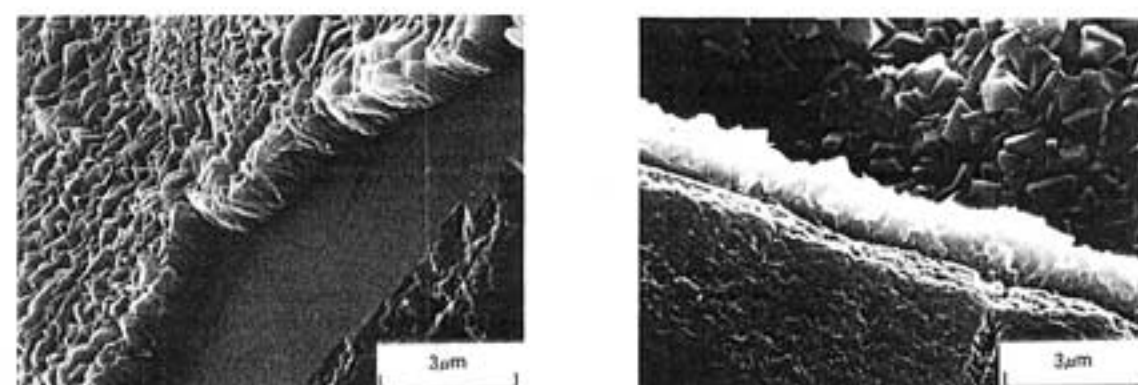
と呼ばれているもので¹⁴⁾、シリンダの上下面がべつの油圧プレスによって押しつけられて応力支持されており、ピストンには応力支持されていない部分の長さを直径の値よりも小さくするための補付けリングが取り付けられている。この装置では、黒鉛からダイヤモンドへの変換に伴う反応容積の減少に対する追従性が良好であり、また、反応室内の圧力を0.1kbar以内に制御することが可能である。

[4] 超高压反応装置

1軸加圧の油圧プレスによって駆動される通常のアンビル-シリンダ形高圧装置や、マルチアンビル形高圧装置を用いて発生できる圧力は、10GPa以下である。装置材料が限られているので、これ以上の高圧力を必

要とする黒鉛からダイヤモンドへの直接変換反応や、六方晶窒化ほう素から高圧相窒化ほう素への直接変換反応には、より高度な補強方法に基づいた高圧装置を必要とする。図2.1-9は、ハイコンプレッションベルト形装置と呼ばれ、アンビルの傾斜面とシリンダ内壁面とが長い距離にわたって相互に応力支持しあう形状となっている⁵⁾。ガードル形装置のアンビルの先端に、硬い材料でつくった円柱状のピストンを数段積み重ねた図2.1-10の装置では、シリンダに過度の負担をかけずに10GPa以上の高圧が得られている¹⁵⁾。

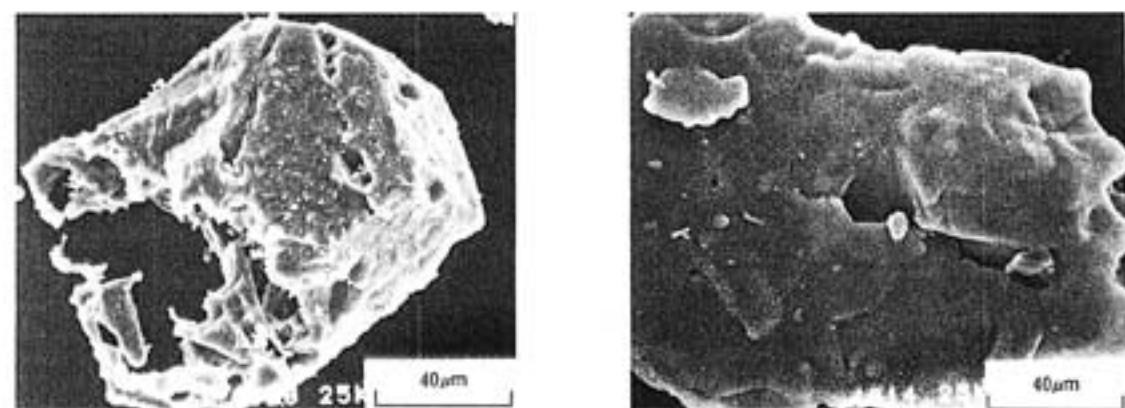
マルチアンビル形装置を発展させた分割球装置は、図2.1-11(a)にみられるように、球体をその中心を通る平面で分割し、中心部に試料室を設けた構成となって



(a) ブロッキー品

(b) イレギュラー品

写真 3.2-9 ダイヤモンド上の TiC 被膜組織



(a) 未被覆粒

(b) TiC 被覆粒

写真 3.2-10 800°Cの空气中に1時間暴露したあとのダイヤモンド粒

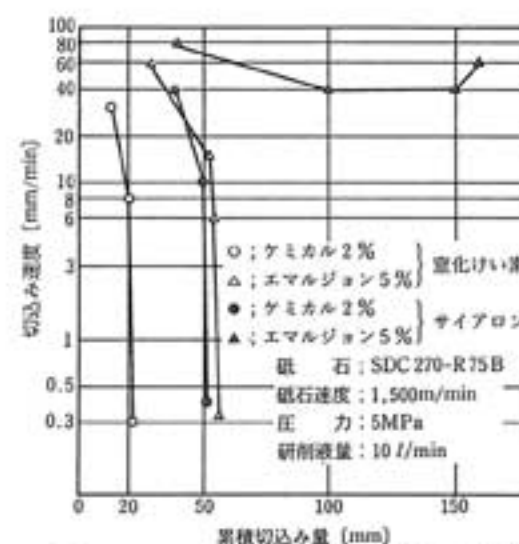
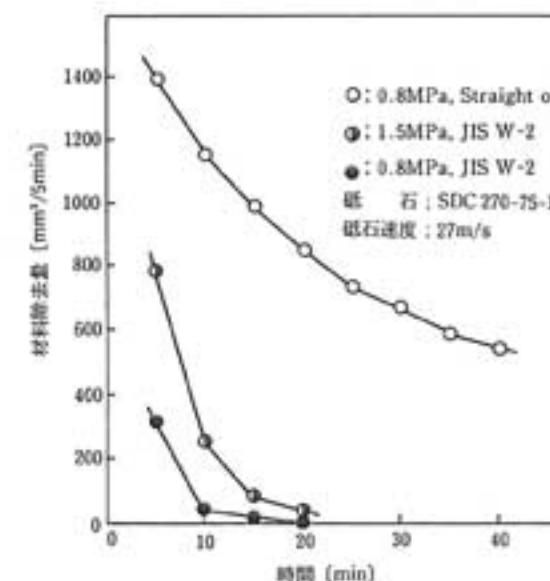
工物などによって使い分ける必要があるといえよう。希望の性質を有するダイヤモンドを要求して製造してもらう時代がきてよいのではないだろうか。あるいは、ダイヤモンドの新しい処理方法を考えてもよいのではないだろうか。

従来、レジンボンドダイヤモンド砥石では、ダイヤモンドの保持力を向上させるため、ダイヤモンド粒にニッケル合金を被覆した砥粒が使用されてきた。この金属被覆は、研削時に流動して摩擦力を増大させたり、また、高い温度での砥石製造には不向きである。そこで、ダイヤモンド粒へのセラミックス被覆の可能性を検討した²⁰⁾。代表的な天然品、合成ブロッキー品、合成イレギュラー品に、CVD法によってTiCセラミックス被覆を行った。被覆膜の組織は写真3.2-9に示すように、ダイヤモンド粒の種類によって異なり、合成ブロッキー品で柱状晶組織、合成イレギュラー品で微粒多結晶

組織の膜が得られ、その付着強度は合成時の溶媒金属、未反応グラファイトなどを多く含有する合成イレギュラー品で最も強く、合成ブロッキー品で弱い。

合成イレギュラー品のTiC被覆したものと未被覆のものを800°Cの空气中に1時間暴露したところ、写真3.2-10のように、被覆品ではほとんど酸化消費されなことがわかる。

ダイヤモンドは他物質との結合性に劣るので、砥石の気孔を減らすことで保持力を高めている。砥石に気孔が多く存在するほうがよいと考えている筆者らは、TiC被覆したダイヤモンド粒とニッケル合金で被覆したダイヤモンド粒を各々樹脂で結合させて試験片砥石をつくり、その曲げ強さを測定した。その結果、TiC被覆した粒による砥石のほうが、曲げ強さでわずかではあるが大きかった。ダイヤモンド粒の新しい利用方法といえるであろう。

図 3.2-23 セラミックスの定圧研削における研削油剤の影響²¹⁾図 3.2-24 アルミナの圧力切込み方式研削における研削油剤の効果²¹⁾

〔4〕 研削油剤の効果

砥石の切れ味維持、および加工物の研削加工による劣化を防ぐために、研削油剤は重要な要素である。図3.2-23²¹⁾は、サイアロンと窒化けい素をケミカルソリューションタイプとエマルジョンタイプの水溶性研削油剤を使用して、定圧研削で研削能率を比較したもので、同一セラミックスで油剤の性質を比較すると、エマルジョンタイプのほうが性能が優れている。とくにサイアロンでは、研削能率が研削初期の状態を維持している。油分を多く含むエマルジョンタイプ油剤は潤滑性に優れているので、切りくずによる結合剤の摩耗に比べて砥粒の摩耗が小さく、砥粒が受ける力よりも砥粒保持力が小さくなったところで切れ刃交代がスムーズに行われるためであろう。

HIP-アルミナを定圧切込みで研削して、研削液の種類が材料除去量に及ぼす影響を調べたのが図3.2-24²¹⁾である。目つぶれが急速に進行し、材料除去量が急激に減るような場合、加工圧力の増加よりも研削液の種類が研削性能の向上に顕著な効果を示し、同時に砥石寿命の向上もはかれている。加工圧力が小さく、砥粒が目つぶれを起こすような研削条件下では、潤滑効果の大きい不水溶性研削油剤や極圧添加剤を多く含むエマルジョン水溶性研削油剤が好ましいといえる。

富田ら²²⁾は、レジンボンド、メタルボンド、ビトリフ

ァイドボンドのダイヤモンド砥石でセラミックスを研削加工したときの、砥石作業面に生じる現象に及ぼす研削油剤の影響について調べている。その結果、ドレッシング時から研削油剤を供給した場合、研削開始直後から研削抵抗、砥石損耗に研削油剤の種類による差が現れる。これは、超砥粒砥石で金属材料を研削加工する場合と同様²⁰⁾、ドレッシング時の砥石作業面の形成に及ぼす研削油剤の効果であり、ドレッシング時から効果を考慮して研削油剤を選定することの重要性を指摘している。

〔5〕 研削面の材料評価

写真3.2-11に、円すいダイヤモンドでアルミナを引掻いて生じた亀裂を示す。アルミナの稜近くを、稜線と平行に引掻いた溝から生じた亀裂が外面に向かって進展している。ダイヤモンド砥石で研削加工したセラミックスでも、このような亀裂が発生してチッピングを生じたり、著しい強度の劣化を引き起こす。

図3.2-25²⁰⁾は、窒化けい素、炭化けい素と窒化アルミニウムについて、加工後の強度を表面粗さとの関係で整理したもので、いずれの場合でも、表面粗さがある値以上になると急激に強度が低下している。図3.2-26²⁰⁾は加工条件と曲げ強さの関係を示したもので、ホットプレス窒化けい素を #400ダイヤモンド砥石で仕上げたもの、これをWA砥石で鏡面仕上げしたものの、