

# 粉末冶金法によるアルミニウム/SiC ウィスカー 複合材料の押出し性と機械的性質について

小 林 義 一\*

## 1. 緒 言

ウィスカーは完全結晶に近い結晶でその強度特性が極めて良好なため、金属やセラミックスの複合材料素材として近年注目をあびている<sup>(1)</sup>。とくに SiC ウィスカーを強化材料とした Al 基複合材料は、すぐれた特性と量産化が期待できるため各種研究され<sup>(2)~(3)</sup>、一部は実用の段階に入っている<sup>(4)~(6)</sup>。これらの製造法としては、SiC ウィスカーをいったんプリフォーム（中間素材）したものに素地金属を溶融含浸して複合化する方法を中心に、溶湯鍛造法や粉末冶金法など各種研究されている。いずれの方法によっても、この種の複合材料の特性を向上させるためには、①SiC ウィスカーを Al 地の中にどの程度均一に分散させることができるか。②ウィスカーの破壊・損傷をいかに少なくすることができるか。③ウィスカーとマトリックス界面の結合性をいかに高められるか。④マトリックス中のボイドをいかに少なくすることができるか。等が大きな問題となっている。そこで、SiC ウィスカーを Al 地の中に均一に分散させるための一つの方法として、Al の粉末中に SiC ウィスカーを混合し、さらにこれを熱間押出し加工することによってどのような特性の複合材料ができるかを実験したので、その結果を報告する。

## 2. 試料と実験方法

アトマイズ法によって作成した - 350 メッシュの純 Al 粉末に市販の SiC ウィスカーを混ぜて、これに混合助剤としてエタノールを加え、自動乳鉢にて 3 時間混合し、SiC ウィスカー含有率 0, 5 および 10% の混合粉末を作製した。次にこの混合粉末を直径 40 mm 長さ 120 mm の金型に入れ、両押成形法により成形圧力 2.5 tonf/cm<sup>2</sup> と 5 tonf/cm<sup>2</sup> で加圧成形し直径 40 mm 長さ 40 mm の圧粉体とした。次にこの圧粉体を N<sub>2</sub> ガス中にて 600°C で 2 時間焼結して押出し用ピレットとした。また、押出しは熱間で行なうため押出し加工中に焼結されることも考えられるので、焼結なしのピレットも一部作成

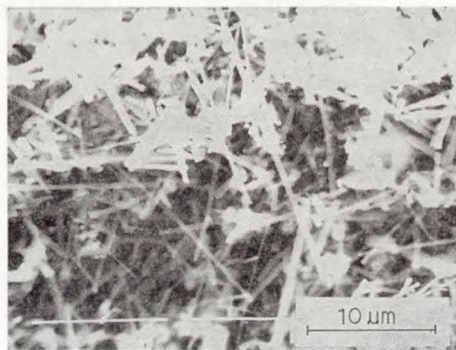


写真 1 SiC ウィスカーの走査電子顕微鏡組織

\* 機械工学科教授

原稿受付 昭和61年 9 月 29 日

した。このようにして作成したピレットを押出し温度600°C、加工度92%で押出して最高押出し圧力を調べ、押出し性に及ぼすSiC ウィスカー含有率、成形圧力および焼結の影響を調べた。次に、得られた押出し材から直径6mm標点距離30mmの引張試験片を切削加工して引張試験を行ない、引張強さ、0.2%耐力および伸びの変化を調べ、また硬さ測定も行った。また強度と組織の関係を検討するために走査電子顕微鏡による観察も行った。なお引張試験は島津オートグラフを使用し、引張速度2mm/minで行ない、硬さはマイクロビッカース硬度計を使用し荷重500gで測定した。

表1は今回使用したAl粉末の化学成分および粒度分布を示し、写真1はSiC ウィスカーの走査電子顕微鏡組織を示す。このようにSiC ウィスカーは、肉眼では“もぐさ状”をしているが、ミクロ的には直径0.05~0.2 $\mu$ m、長さ10~40 $\mu$ mの単結晶短繊維であることがわかる。

表1 Al粉末の化学成分および粒度分布

化 学 成 分 (%)							粒度分布 (%) メッシ		
Al	Cu	Si	Fe	Mg	Mn	Zn	+250	250~350	-350
99.75	tr	0.09	0.16	tr	tr	tr	0.2	22.5	77.3

### 3. 実験結果とその考察

#### 3-1 押出し性

SiC ウィスカー含有率、成形圧力および焼結条件が押出し性に及ぼす影響を調べるために、各種ピレットを600°Cで押出し加工したときの最高押出し圧力の変化および押出し材の表面状況を調べた。図1は最高押出し圧力がSiC ウィスカー含有率、成形圧力および焼結条件にどのように影響するかを調べたものである。これによると、成形圧力、焼結条件のいかにかわらず、SiC ウィスカーが含まれると最高押出し圧力は高くなり、押出し性は悪くなる。これはSiC ウィスカーが押出し加工における変形抵抗を高めたためと思われる。また、成形圧力が同じであれば、焼結した場合の方が押出し圧力は低くなっているが、これは圧縮成形のみの圧粉体では、圧粉体内の各粉末粒子間の結合はおもに機械的なからみ合いのために、押出し加工に際して、粉末粒子間の変形抵抗が大きくなるが、焼結すると粉末粒子間の結合は原子的な結合になる<sup>(7)</sup>ために、押出し加工に際して粉末粒子間の変形抵抗が小さくなることおよび焼結により加圧成形の際に生じた粉末粒子間のひずみが除去されてピレットが軟化したためと思われる。また焼結条件が同じであれば、成形圧力が高い場合の方が押出し圧力は高くなっているが、これは図2のAl粉末の成形圧力と圧粉体の密度の関係からわかるように、成形圧力が高くなるにつれて圧粉体の密度は放物線的に高くなり、押出し加工に際して変形抵抗が大きくなったためと思われる。

写真2はSiC ウィスカー含有率、成形圧力および焼結条件を変えて作ったピレットを押出し加工したときの押出し材の表面状況を示す。これによるとウィスカー含有率が10%の場合には、押出し材の表面に髪の毛のようなギザギザ模様が発生している。ウィスカー含有率

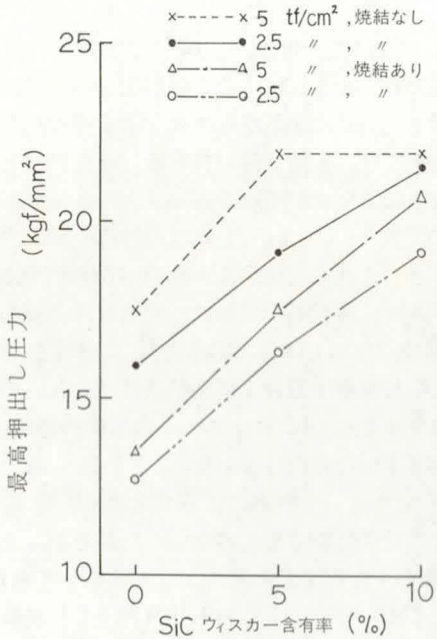


図1 押出し圧力に及ぼす SiC ウィスカークラス含有率, 成形圧力および焼結の影響

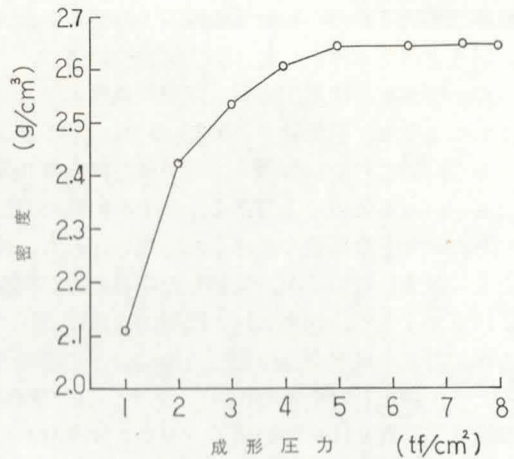


図2 Al 粉の成形圧力と密度の関係

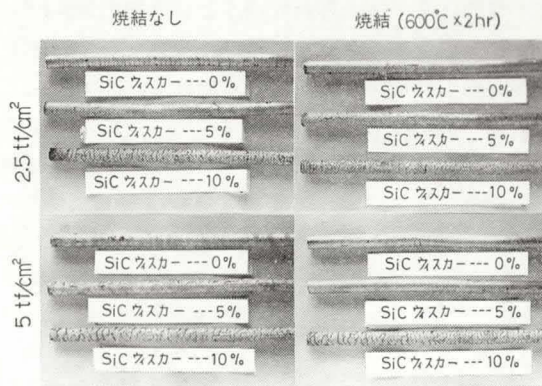


写真2 押出し材の表面状況

が5%の場合には、焼結なしの押出し材には多少髪の毛模様は見られるが、焼結した場合にはそのような模様はほとんど見られない。ウィスカークラス含有率が10%の場合の髪の毛模様も焼結なしの場合より焼結した場合の方が少なくなっており、焼結することにより押出し材の表面は明らかに改善されることがわかる。

以上により、押出し性という点から見れば、粉末の成形圧力は低くして、得られた圧粉体は十分焼結した方が良く、また SiC ウィスカークラスの含有率は少ない方が良いことがわかる。

### 3-2 押出し材の機械的性質

図3は押出し材の縦断面と横断面の硬さが SiC ウィスカー含有率、成形圧力および焼結条件によってどのように変化するかを調べたものである。これによると成形圧力および焼結条件は押出し材の硬さにあまり大きな影響を及ぼさないが、SiC ウィスカー含有率の増加につれて硬さはほぼ直線的に上昇し、10%ウィスカーではほぼ50%上昇している。また押出し材横断面の硬さの方が縦断面の硬さより明らかに大きな値を示している。

図4と図5は押出し材の引張試験の結果で、引張強さ、0.2%耐力および伸びが SiC ウィスカー含有率、成形圧力および焼結条件によってどのように変化するかを調べたものである。これによると、引張強さと0.2%耐力は SiC ウィスカー含有率の増加につれてほぼ直線的に上昇し、10%のウィスカーで引張強さはほぼ40%、0.2%耐力はほぼ35%上昇し、引張強さの上昇率の方が耐力の上昇率よりわずかに高い。しかし成形圧力および焼結条件はこれらの値にあまり大きな影響を及ぼしていない。一方、伸びは逆に SiC ウィスカー含有率の増加とともに減少しているが、焼結した場合の方が減少率は少なくなっている。

以上のように、押出し材の機械的性質は SiC ウィスカー含有率によって大きく影響されるが、粉末の成形条件や焼結条件によってはあまり大きな影響を受けないことがわかった。そこで、押出し材中の SiC ウィスカーの分散状態を走査電子顕微鏡によって観察してみた。写真3と写真4はその結果で、写真3は成形したままのビレットを押出した押出し材横断面の走査電子顕微鏡組織で、写真4は加圧成形後600°Cで2時間焼結したビレットを押出した押出し材縦断面の走査電子顕微鏡組織である。これらによると、SiC ウィスカー含有率が高くなるにつれて、押出し材中の SiC ウィスカーは全面に分布するようになるが、成形条件や焼結条件による違いはほとんど認められない。これは押出し時の加工度が92%とかなり大きかったことおよび押出し温度が高かったために、ビレットの成形圧力および焼結条件の影響が押出し材にまで引き継がれなかったためと思われる。

一般にウィスカーを押出し材中に均一に分散させ、更に一定方向に揃わせることができれば良好な機械的性質を持つ材料ができると言われており、森本<sup>(8)</sup>は6061Al合金粉末に SiC

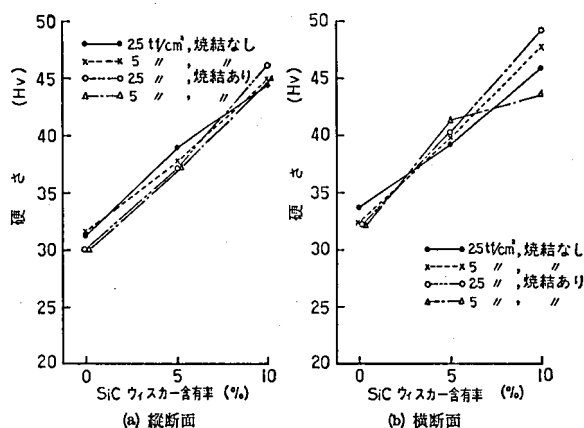


図3 硬さと SiC ウィスカー含有率との関係



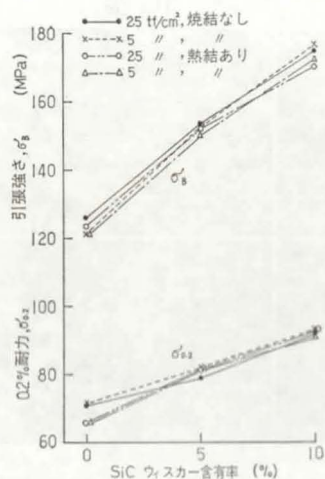


図4 引張強さ, 0.2%耐力と SiC ウィスカー含有率との関係

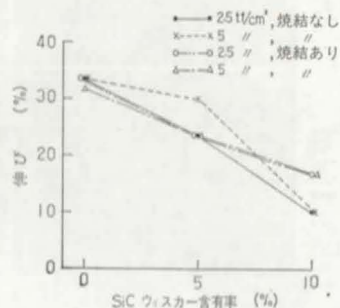


図5 伸びと SiC ウィスカー含有率との関係

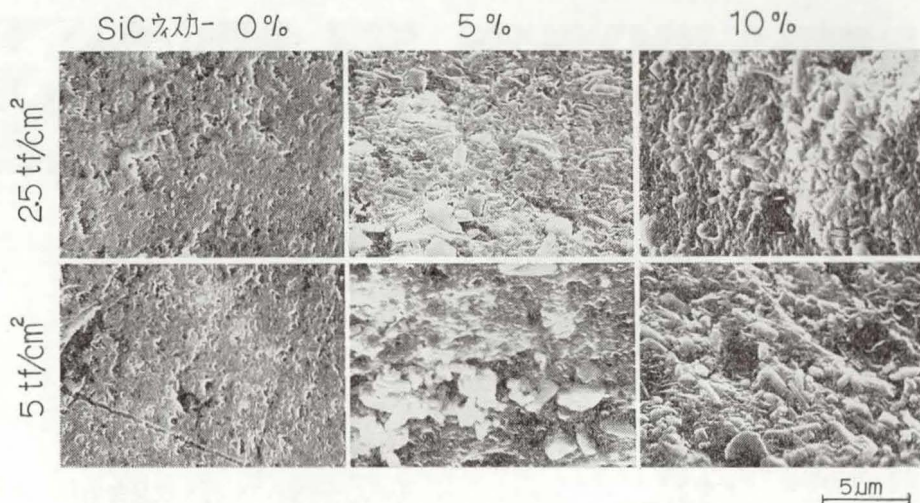


写真3 押出し材横断面の走査電子顕微鏡組織 (焼結なし)

ウィスカーを混合した後, 熱間静水圧プレス (HIP) 装置で固化成形したビレットを押し加工して, SiC ウィスカーを一方に配向させることにより良好な強度特性を得たと報告しており, 渡辺ら<sup>(9)</sup>は高圧凝固鑄造法によって作った SiC ウィスカー強化 Al 合金を押し加工するとウィスカーが押し加工方向に配列して良好な機械的性質を示すとのべている. また, 黒石ら<sup>(2)</sup>は 2024Al 合金粉末に SiC ウィスカーを混合し圧縮成形後, 固相線温度よりも高い温度でホットプレスし, その後, 押し加工することにより SiC ウィスカーを一方に配列させることができると報告している. しかし本実験においては, 写真4の押し加工材縦断面の走査電子顕微鏡組織に見られるように, SiC ウィスカーは小さく切断されたようになってお

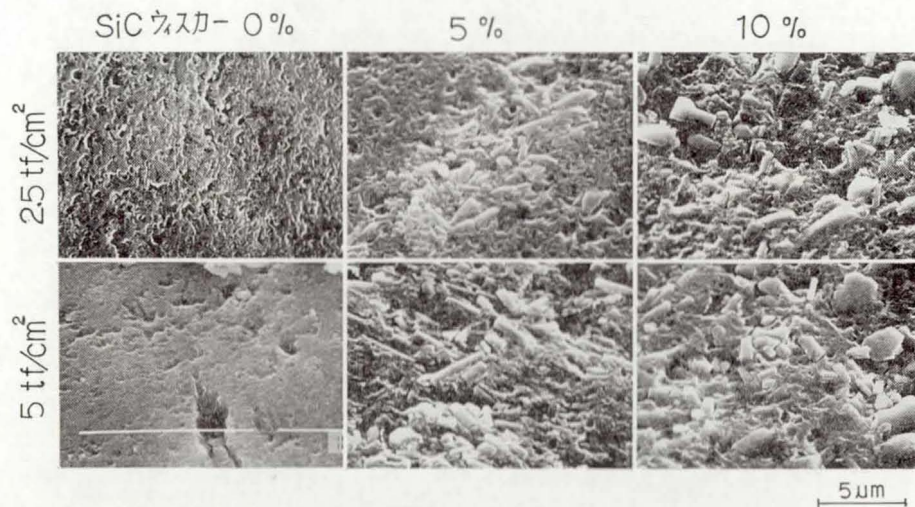


写真4 押出し材縦断面の走査電子顕微鏡組織（焼結あり）

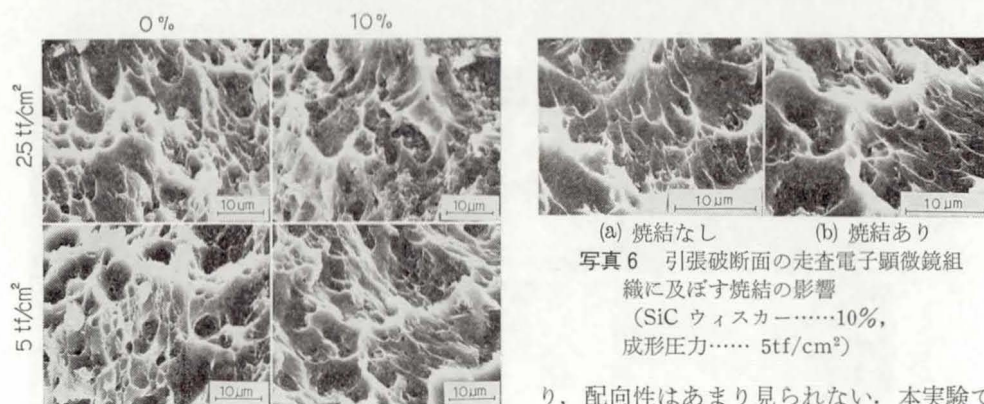


写真5 引張破断面の走査電子顕微鏡組織に及ぼす SiC ウィスカー含有率と成形圧力の影響（焼結あり）

写真6 引張破断面の走査電子顕微鏡組織に及ぼす焼結の影響  
(SiC ウィスカー……10%,  
成形圧力……5tf/cm<sup>2</sup>)

と思われるので今後の検討にゆずりたい。

写真5と写真6は、引張破断面が SiC ウィスカー含有率、成形圧力および焼結条件によってどのような違いがあるかを調べたものである。これらによると、引張破断面は SiC ウィスカー含有率、成形圧力および焼結の有無によってほとんど変化が見られず、すべてにデンプル模様が認められ、脆性破壊の破面の様子を示しているが、SiC ウィスカーが破壊に際してどのような役割をはたしているかは明らかにならなかったで、この点についても今後の検討にゆずりたい。

り、配向性はあまり見られない。本実験では、ビレットの焼結温度が600℃で液相線より低いことが黒石らとの大きな違いであるが、その他にも粉末の混合条件、成形条件、押出し温度、加工度等にも関係してい

#### 4. 結 論

Al 粉末に SiC ウィスカーを0.5および10%混合し、成形圧力 2.5tonf/cm<sup>2</sup> および 5tonf/cm<sup>2</sup> で加圧成形し、その後600°Cで2時間焼結して作ったピレットを加工度92%、温度600°Cで熱間押出し加工し、その押出し加工性を調べ、得られた押出し材の硬さ測定、引張試験および走査電子顕微鏡による組織観察を行なったところ、次のことがわかった。

- (1) 押出し性は SiC ウィスカー含有率、成形圧力および焼結条件によって大きく影響され、SiC ウィスカー含有率が高いほど最高押出し圧力は高くなり、押出し性は悪くなる。粉末の成形圧力は低い方が、押出し圧力は低くなり、押出し性は良くなる。また圧粉体を焼結すれば、押出し圧力は低くかつ押出し材の表面状況は良好となり、押出し性は改善される。
- (2) 押出し材の硬さは、SiC ウィスカー含有率の増加とともにほぼ直線的に上昇し、10%の SiC ウィスカーで硬さは0%のときに比べてほぼ50%上昇する。押出し材の引張強さ、0.2%耐力も SiC ウィスカー含有率の増加とともに上昇し、10%の SiC ウィスカーで引張強さはほぼ40%、0.2%耐力はほぼ35%上昇する。伸びは SiC ウィスカー含有率の増加とともに減少する。
- (3) SiC ウィスカー含有率が同じであれば、粉末の成形圧力および焼結条件は押出し材の硬さ、引張強さおよび0.2%耐力にはあまり大きな影響を及ぼさないが、伸びは焼結した場合の方がいくぶん高くなる。

終りに、本研究を行なうにあたり実験に御協力いただいた本校機械工学科卒業生那須野雄二(現在豊橋技術科学大学)、横山和幸(現在長岡技術科学大学)の両君に感謝の意を表します。

#### 参 考 文 献

- (1) 森田幹郎, 梅川莊吉, 渡辺治: 金属基複合材料を知る事典 (1984), p. 60, アグネ。
- (2) 黒石農土, 明智清明: 軽金属, 第34巻 (1984) 第9号, p. 537.
- (3) H. J. Rack, T. R. Baruch, J. L. Cook: ibid (1982), p. 1465.
- (4) 大堀紘一, 渡辺英雄, 竹内庸: 日本金属学会会報, 第25巻 (1986) 第5号, p. 447.
- (5) NIKKEI NEW MATERIALS, 1986年3月17日号, p. 40.
- (6) Materials Engineering, May 1986, p. 33.
- (7) 若林章治, 渡辺尙: 粉末冶金 (1982), p. 30. 技術書院
- (8) 森本啓之, 南出俊幸, 大内権一郎: 軽金属学会第69回大会講演概要集 (1985), p. 65.
- (9) 渡辺英雄, 大堀紘一, 竹内庸: 軽金属学会第70回大会講演概要集 (1986), p. 119.