

平成 15 年 3 月修了

博士学位論文

スパッタリングターゲット材の研究開発と事業化

Development and Commercializing

of

Sputtering Target materials.

平成 14 年 12 月 27 日

高知工科大学大学院 工学研究科基盤工学専攻 起業家コース

学籍番号 1036018

平木 明敏

Akitoshi Hiraki

内容要旨

1. はじめに

本論文は、筆者が大阪大学において研究した成果をヒントとし、企業にて製品化に成功した液晶ディスプレイ用途を中心とするスパッタリングターゲット材（以降、ターゲット材）に関するものであり、基礎研究から製品開発を経て、実用化し、更には事業化の推進、そして最終的には事業展開の一環として筆者が実践した台湾での加工会社の設立までの研究成果を時系列的にまとめたものである。

論文は、大きく分けて3つの部分より構成される。

① 製品化への挑戦

大阪大学において研究したFe-Mo系の超高压環境下での相挙動の研究成果と、この研究をヒントとして開発を実施したHIP(Hot Isostatic Press. 熱間静水圧プレス)法を応用した高融点ターゲット材の実用研究と製品化を筆者の代表的な開発品である、“低パーティクルTiWターゲット材”を題材にし詳細に研究成果を報告する。

② 事業化への挑戦

製品化に成功したターゲット材の事業化展開の経緯等について詳述する。具体的には、事業計画から始まり最終的には利益確保までの経緯を実例を紹介しながら、その研究成果を述べる。

③ 起業への挑戦

事業化に成功したターゲット材事業の更なる発展を目的に筆者が中心となり台湾にて新会社を起業した。この実践内容を研究成果として述べる。更には、その経験より得た、筆者自身の独自の見識を述べる。

2. 高融点ターゲットの基礎研究

2.1 Fe-Mo系の超高压下における状態図(相挙動)の研究

筆者が大阪大学において研究した内容である。拡散対を用いた実験方法で超高压の環境下での相挙動を研究した。超高压下では、常圧対比で著しく金属学的相挙動が異なることが判明した。

具体的には、Fe-Mo系の場合、

- ① 高圧力により α 相の存在範囲が減少する。
- ② 高圧力により γ 相の存在範囲が拡大する。
- ③ 3.2 GPaの圧力では γ ループは γ 縮小型状態図に変化する。

2.2 HIP法による工業化への応用

ターゲット材は様々な材質があるが、筆者はこのうち高融点材料、具体的にはW系、Mo系、Cr系の開発に多くの時間を費やした。高融点材料を高密度化するには、大学時代研究した

高圧力の応用が不可欠で、総合的判断でH P法による工業化に挑戦した。筆者の代表的開発材料である“低パーティクルTi Wターゲット材”の実例で研究成果を述べる。

特殊な粉末処理とH Pを組み合わせ、更にその焼結体を高温での拡散熱処理を施すことにより、独自性の極めて高い金属組織を有する、Ti -Wターゲット材を開発した。

この開発材は、顧客が大変困っていたパーティクル発生の抑制に絶大なる効果を発揮したため、この材料が業界のデファクトスタンダードになり、大ヒットした。筆者も特許を多数出願した。

この開発材のポイントであるH P(高圧力)と拡散熱処理はいずれも大阪大学において研究したことがヒントになっている。

このヒット商品が、ターゲット材事業拡大のスタートであり、この開発の水平展開により多数の商品が製品化された。

3. ターゲット材の事業化

研究開発を中心に、開発商品が多く世の中に出ていったが、生産体制、販売戦略、差別化戦略の不備により、研究開発力はあったものの、事業競争力は決して強いものではなかった。この点から商品シェア、製品収益面で問題を抱えていた。この打開策として一貫工場の構築を中心とした、本当の意味での事業化を筆者は、研究所から工場に転属し推進した。

事業戦略の骨子は、

- ① ストロングポイント(コアコンピタンス)強化による性能差別化
- ② 2大市場へ集中した営業拡販体制
- ③ 一貫ライン工場構築によるCS向上と利益体質強化
- ④ 革新的新技術によるコスト低減

この戦略の元、事業計画書を作成し、計画を実行。具体的ゴールは2大成長市場である、ハードディスク及び液晶ディスプレイ市場にてトップシェアを獲得し、その結果として高収益事業になることである。

計画実行の結果、当初の利益計画を達成し、事業化に成功した。

しかしながら、その後業績は伸び悩んだ、その理由は、

- ① 日本国内マーケットの頭打ち。
- ② 強烈的な値引き圧力に対し、コストダウンが追従しない。

この打開策として、海外新会社の起業に挑戦した。

4. 台湾生産拠点の起業(コーポレートベンチャーの実践)

液晶ディスプレイの製造現場は、猛烈な勢いで日本国内から韓国、台湾へと移行している。特に最近の台湾の生産量の伸びは著しい。我々の市場競争力、競合他社の状況、市場成長率の観点より、世界的事業展開のために台湾にて加工新会社を起業することを筆者は決意した。この起業は筆者自ら社長に直訴し認可を得、筆者が中心になり実行、運営した。

台湾新会社の設立目的は、

- ① 顧客満足度を向上することにより、拡大市場でのシェアアップを図る。
- ② 日本の人件費の約1/3である台湾にて生産することによりコスト競争力をつける。
- ③ 台湾新会社を設立することにより、事業全体の製造能力増強を図る。
- ④ 素材製造は日本、機械加工以降は台湾で分業化することにより、各々に力の集中を図り、事業全体の品位競争力を強化する。

この目的のために、起業を実行した。販売計画、人員計画、資金調達、工場計画、利益計画を中心としたビジネスプランを立案し、計画を実行した。最初の提案後から約一年で新会社を設立した。

5. 海外ベンチャーにおけるマネジメントの実践

ここでは、台湾新会社の経営者として実践したことより得た筆者自身の結論を述べる。

5.1 人材(カルチャーギャップへの対応)

会社の組織が大きくなると、カルチャーギャップによる人材管理に大変苦労してる。ただ、カルチャーが異なっても、最後は従業員一人一人に対する思いやりの度合いで結果が決まると言うのが、筆者なりの結論である。

5.2 意思決定

日本の大企業と台湾のベンチャーでは意思決定システムが大幅に異なる。

台湾ベンチャー運営の中で、筆者なりに会得した意思決定システムは、

- ① 頼れるのは、自分自身のみ
- ② 尺度はキャッシュフローでの“損得勘定”
- ③ 実行しなかった場合のリスク
- ④ “奥の手”の有無

この4点より、意思決定を迅速に実行する。

6. キャッシュフロー経営の実践

日本の大企業での工場管理時代はP/Lによる収益管理であったのに対し、台湾ベンチャーではB/Sによるキャッシュフロー経営であり、運営方法が全く異なる。後者はどのように現金を調達し、その調達した現金を使い、どのようにお金を増やすかの経営である。

筆者は、これを実践していく中で、単純な意思決定システムとキャッシュフロー経営の実践こそが、“日本製造業復活”の鍵があると提言する。

7. 今後の展開

今後の事業展開として、代替技術に対するリスクと中国進出に対するリスクを考慮しながら事業展開を考える必要があり、筆者はリスクに対する打つ手を持っており、事業展開に“勝算あり”で論文を締めくくる。

目次

1. はじめに	P. 6
2. 高融点ターゲット材の基礎研究	P. 7
2. 1 Fe-Mo系の超高压下における状態図（相挙動）の研究	P. 7
2. 2 HIP（熱間静水圧プレス）法による工業化への応用	P. 18
3. ターゲット材の事業化	P. 35
3. 1 事業戦略（マーケット動向、規模とシェア）	P. 35
3. 2 事業計画書	P. 36
3. 3 一貫工場計画（工場設計）	P. 37
3. 4 販売計画	P. 38
3. 5 利益計画	P. 39
3. 6 国内生産における課題	P. 39
4. 台湾生産拠点の起業（コーポレートベンチャーの実践）	P. 40
4. 1 背景（マーケット状況）	P. 40
4. 2 戦略とリスク	P. 40
4. 3 ビジネスプラン	P. 41
4. 4 資金調達	P. 42
4. 5 工場計画	P. 42
5. 海外ベンチャーにおけるマネジメントの実践	P. 43
5. 1 人材（カルチャーギャップへの対応）	P. 43
5. 2 意思決定	P. 44
6. キャッシュフロー経営の実践	P. 46
6. 1 コーポレート（日本の大企業工場）における財務管理	P. 46
6. 2 コーポレートベンチャー（台湾新会社）経営における財務管理	P. 46
6. 3 事業創出から海外展開までの経営実践に対する考察	P. 47
7. 今後の展開	P. 49
7. 1 技術革新への対応（代替技術に対するリスク）	P. 49
7. 2 経営パラダイム変革への対応（中国進出に対するリスク）	P. 49
8. 参考文献	P. 50
9. 筆者業績	P. 51

第1章 はじめに

本論文は、筆者が大阪大学において研究をした基礎研究からヒントを得て、企業（日立金属株式会社）にて製品化した液晶ディスプレイ用途を中心とするスパッタリングターゲット材料（以降、ターゲット材）の実用研究から製品開発を経て、実用化し、更には事業化の推進、そして最終的には事業展開の一環として筆者が実践した台湾での加工会社の設立までの研究成果を時系列的にまとめたものである。

論文は、大きく分けて3つの部分（下記①～③の挑戦）より構成される。

① 製品化への挑戦（第2章）

まず大阪大学において研究したFe-Mo系の超高压環境下での相挙動の研究成果を述べる。

次に、この研究をヒントとして開発を実施したHIP（Hot Isostatic Press. 熱間静水圧プレス）法を応用した高融点ターゲット材の実用研究ならびに製品化の経緯を筆者の代表的な開発品である、“低パーティクルTiWターゲット材”を題材にし研究成果を詳細に述べる。

② 事業化への挑戦（第3章）

製品化に成功したターゲット材の事業化展開の経緯について詳述する。具体的には、事業計画から始まり最終的には利益確保までの経緯を実例を紹介しながら、その研究成果を述べる。

③ 起業への挑戦（第4, 5, 6章）

事業化に成功したターゲット材事業の更なる発展（見方を変えると、生き残り策）を目的に筆者が中心になり台湾にて新会社を設立した。この論文のクライマックス部分であるが、この実践内容を本起業家コースで学んだ学問とリンクしながら、研究成果として、述べる。更には、その経験より得た、筆者自身の独自の見識を述べる。

なお、本論文に記載するターゲット材の事業化、海外新会社の設立は事実内容につき、企業秘密等の公開できないものが多く含まれています。そのため、数字他、一部の開示できない箇所は、データの削除（空白）もしくは事実と反するシュミレーションモデルでの報告になるケースがあることを、事前承知置き願います。

以降、順を追って報告して行きます。

第2章 高融点ターゲットの基礎研究

2.1 Fe-Mo系の超高圧下における状態図（相挙動）の研究

本研究は、筆者が大阪大学（大阪大学工学部金属材料工学科修士課程。1985年卒業）において研究した内容であり、この研究が後のターゲット材事業の開発研究のヒントになった重要な部分であり、ここでは、詳細は割愛し、研究の概要を記述する。

（1）研究の目的

金属材料の開発は永年に行われているが、新材料の開発には従来の方法とは異なった手法が必要である。その一つの方法として高圧力の利用である。高圧力下での結晶構造の変化による組織制御、新材料の出現、さらには常圧力下で得難い合金相の合成等のような材料開発や技術開発の可能性があり期待がかけられる。高圧力技術の進歩と共に高圧力下の金属物性は近年数多く報告されているが、高圧力下の物質合成等の基礎となる高圧力下の状態図については1成分系（純金属）の圧力-温度状態図に関するものが多く（参考文献1）、合金中の相平衡への圧力の影響についての報告、すなわち、組成-圧力-温度状態図については極めて限られた系で報告されてるにすぎない（参考文献2, 3）。単純な純金属への高圧力の影響と異なり、合金の平衡状態に対して高圧力は複雑な影響を与え、常圧力下の状態図とは様相の異なった状態図になる可能性がある（参考文献4, 5）。平衡状態図の研究でよく行われている平衡に達するまでの長時間の熱処理は、高圧力下の研究では不可能に近く研究報告の少ない原因の一つである。相変態の測定法として、電気抵抗法、示差熱分析法、光学顕微鏡観察、電子顕微鏡観察、X線回折法、拡散対法などがある。それらの中で拡散対法は長時間の熱処理を必要とせず相境界濃度だけでなく金属間の反応による化合物相の出現も同時に測定できる有力な方法であり、高圧力下の状態図研究に適している。

常圧力下のFe-Mo系の状態図は今までに数多くの研究がなされており（参考文献6～11）、KubaschewskiによるFe-Mo系のFe側の固溶体を形成し中間相（Fe₂Mo相、Fe₅Mo₃相、Fe₃Mo₂相）と平衡している。しかし、高圧力下の状態図については純鉄と純モリブデンの融点への圧力の影響が報告されてるだけであり（参考文献5）、高圧力下のFe-Mo系状態図についての報告はない。本研究の目的は、拡散対法により3.2GPa（すなわち32000気圧）までの高圧力下でのFe-Mo系のFe側状態図の決定し、高圧力下の状態図計算と比較し熱力学的に検討することにある。

（2）実験方法

直径4mmのモリブデン材を2.5mmの厚さに切断し円板を作製した。純鉄とFe-Mo合金は、高周波真空溶解炉にて作製し、1100℃、72時間で均一化焼鈍した。これらの金属の組成を図1に示す。これらの金属を室温で線引により直径4mmの線材にし

wt %	Fe	Mo	C
Pure Fe	99.99	—	0.003
Fe-Mo alloy	Bal.	7.75	0.002
	Bal.	13.4	0.005
Pure Mo	—	99.96	0.0015

図1 サンプルの金属組成

た。鉄の線材と合金はそれぞれ2.5mmと5mmの厚さに切断し円板状にした。これらの円板の表面をエメリー紙で研磨した。その後、バフ研磨により0.05 μ mのアルミナ粉を用いて鏡面に仕上げ、アセトン中で超音波洗浄した。

常圧力（以下、0GPaと記述）下の拡散焼鈍用の拡散対は上記の円板状の純鉄とモリブデンを用いてクランプ法により作製した。モリブデンは酸化されやすいので、この拡散対をシリカチューブ内に水素を5%含むアルゴンガスと共に封入した。このガスの圧力は拡散焼鈍温度で0.1MPaになるようにした。封入した試料は電気炉内にて950～1300 $^{\circ}$ Cの温度、1～36時間の時間で拡散焼鈍した。拡散温度は $\pm 1^{\circ}$ C以内で制御した。拡散焼鈍後、氷水中で冷却した。

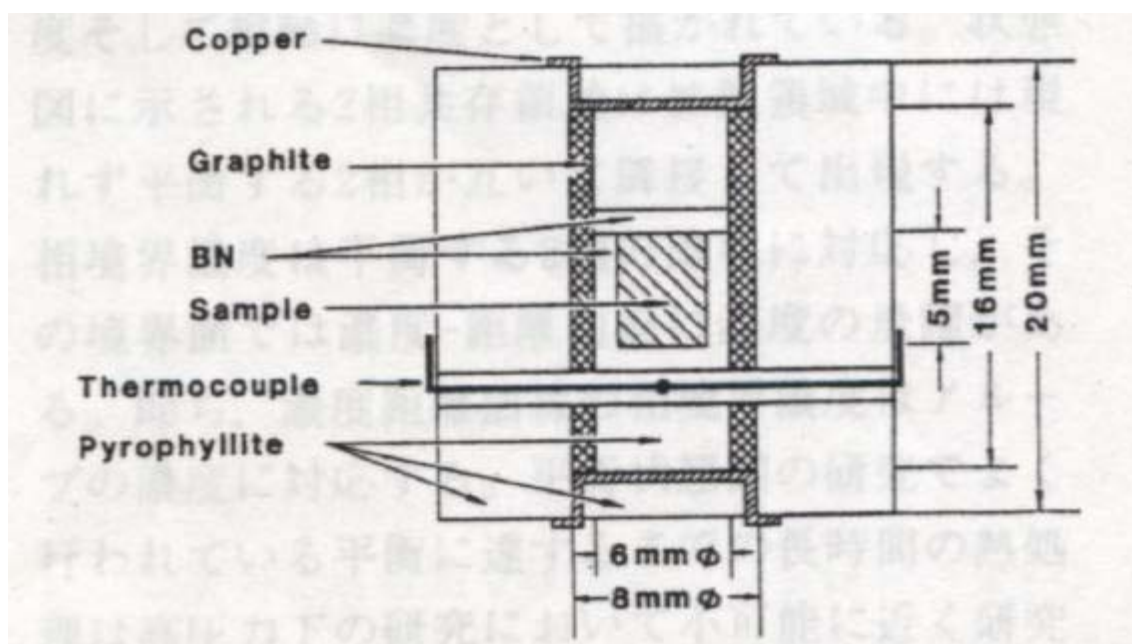


図2 高圧セルの構造

高圧力用の拡散対は円板状の純鉄とモリブデンからなり、高圧力用立方体セル内に入れた。高圧力用セルを図2に示す。拡散対は熱的に安定で優れた潤滑作用を持つボロンナイトライド（BN）で包まれ、グラファイトヒータ内に置いた。そのまわりを立方体のパイロフィライト（ $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ）で包んだ。パイロフィライトは圧力媒体とガスケットの役目を果たす。拡散対の温度は隣接した熱電対により測定できる。上下に

ある銅のキャップはグラファイトヒータに通電する電極である。

図3に示すように、タングステンカーバイド（WC）アンビル型高圧力発生装置内に高圧力セルを入れ、3.2 GPaまでの高圧力を加えた。この高圧力発生装置は水平に設置された4つのWCアンビルと上下一対のガイドブロックに取り付けられた2つのWCアンビルから構成されている。1200 tプレスによる上下2つのアンビルの上下方向の圧縮移動は水平に置かれた4つのWCアンビルのセルに向かう等価な移動を生じ、立方体セル

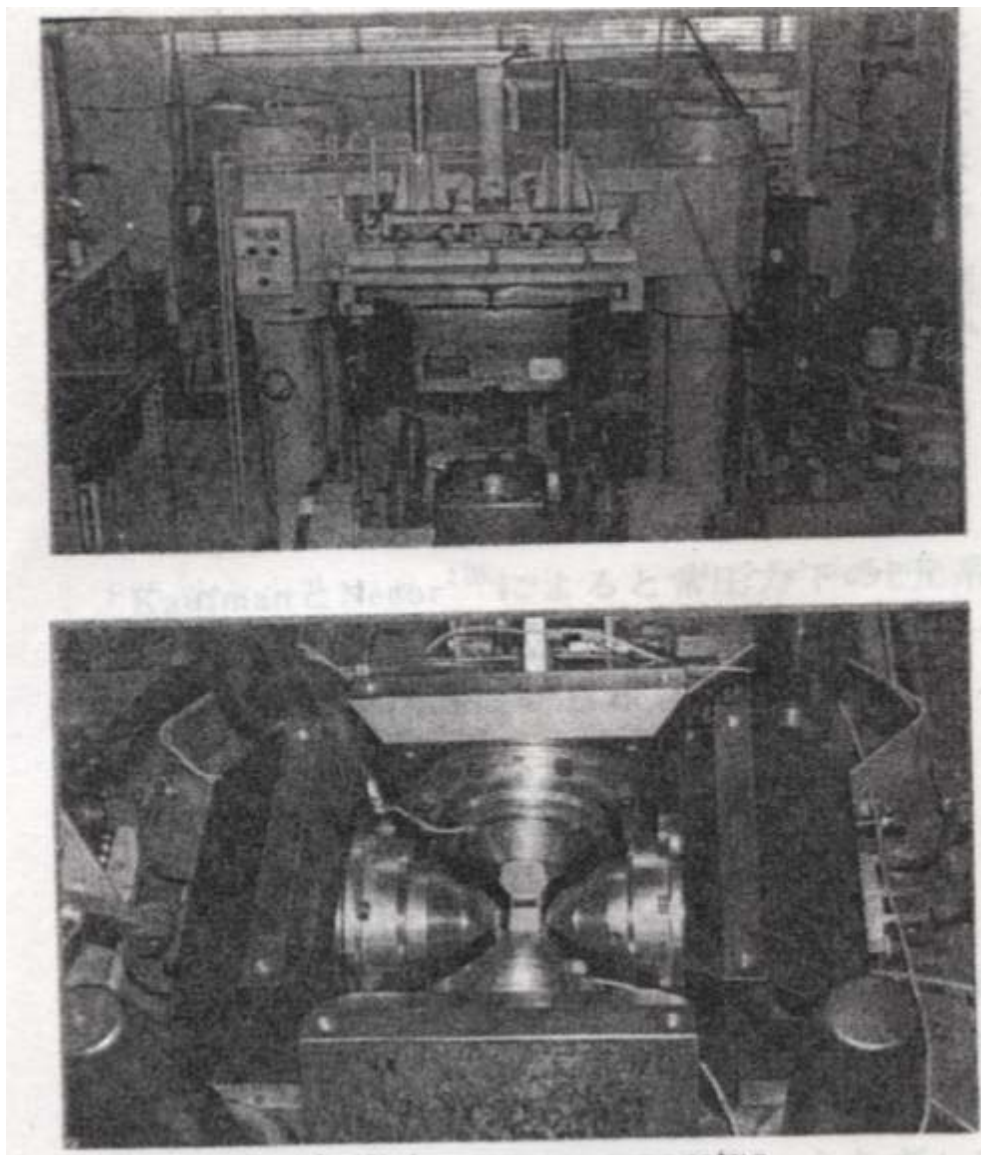


図3 高圧力発生装置の外観

の6面に等価に作用し拡散対に高圧力でしかも静水圧を発生するように設計されている。高圧力を加圧後、グラファイトヒータに通電し拡散対を加熱した。拡散対の温度は拡散対に隣接した熱電対により測定した。所定の拡散温度には120秒以内で昇温し、拡散温度

は±2 K以内で制御した。その冷却は加圧力下で60秒以内で行った。特に冷却開始からの冷却速度は40°C/秒以上である。試料温度が室温になってから高圧力を除いた。拡散対以外に、目的とする濃度のFe-Mo合金も高圧力下で焼鈍した。それらの焼鈍温度は750~1300°C、焼鈍時間は1~16時間、焼鈍圧力は2.1~3.2 GPaである。

焼鈍後、試料の酸化、蒸発、表面拡散の影響部を切断と研磨により取り去った。拡散対は樹脂に埋め込んだ後、拡散方向と平行に研磨し0.05 μmアルミナ粉により仕上げた。拡散対の濃度距離曲線を拡散方向に平行に波長分散型X線マイクロアナライザー (EPMA。日立製作所製X-650型) により測定した。その特性X線強度はZAF法 (参考文献12, 13) と組成の判明しているFe-Mo合金の標準試料により濃度に変換した。組織観察は試料をナイトール (5%硝酸) で腐食し、エネルギー分散型濃度分析装置 (EDX) を持つ走査型電子顕微鏡 (SEM) により行った。母相と析出物の濃度分析をEDXにより測定し、濃度補正は装置に付属している濃度補正プログラムを使用した。

(3) 結果と考察

Matano 界面からの距離 x を拡散時間 t の平方根で除したパラメーター ($x/t^{0.5}$) により0 GPa、1100°Cで拡散焼鈍した拡散対の濃度距離曲線を図4に示す。

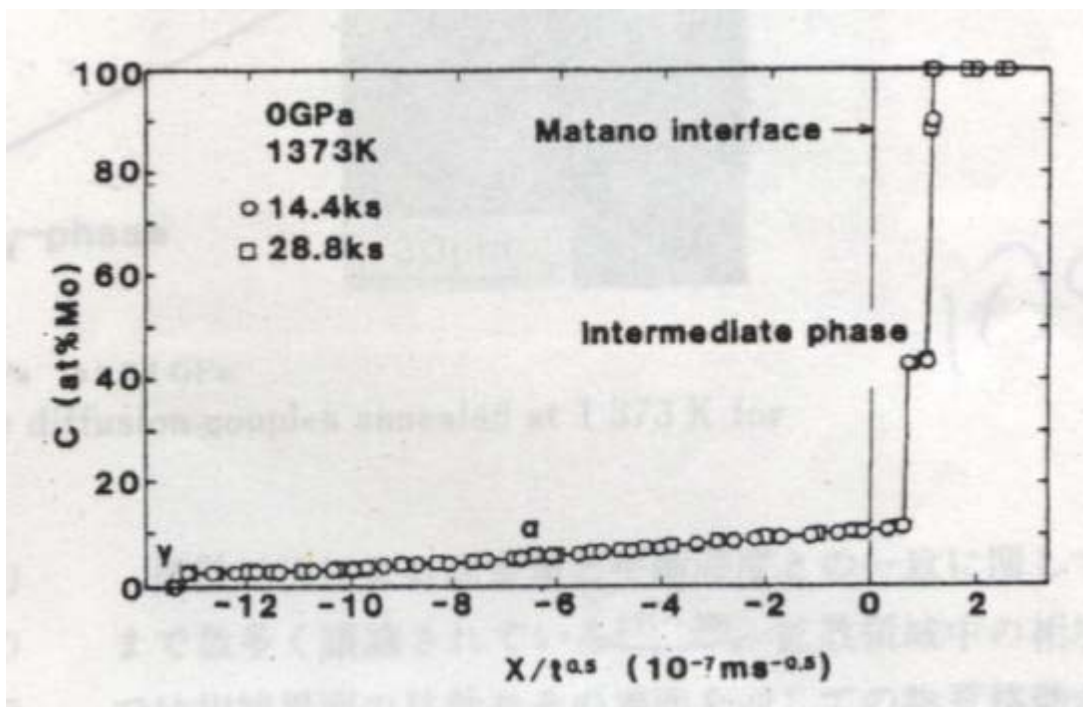


図4 1100°C、大気圧で焼鈍した時拡散対の濃度プロファイル

濃度距離曲線よりわかるように、 γ 相に接して幅の広い α 相と非常に狭い中間相、そしてMo相がある。状態図に示される2相共存領域中に互いに隣接して出現する。その境界

面では濃度距離曲線に濃度の飛躍があり、相境界濃度は平衡する2相の濃度に対応する。図5に各圧力下で拡散領域に生成した相のSEM写真を示す。Moの固溶体、中間相、 α 相、 γ 相が観察される。0 GPaでの α 相は約110 μm の層厚であるが、2.1 GPaの高圧力下では約52 μm の層厚に減少している。高圧力により α 相の成長は大きく制御されているのがよくわかる。0 GPaでの生成相はNoharaとHiranoら(参考文献14)による反応拡散の研究結果とよく類似しているが、本研究の中間相の層厚は彼らの結果より

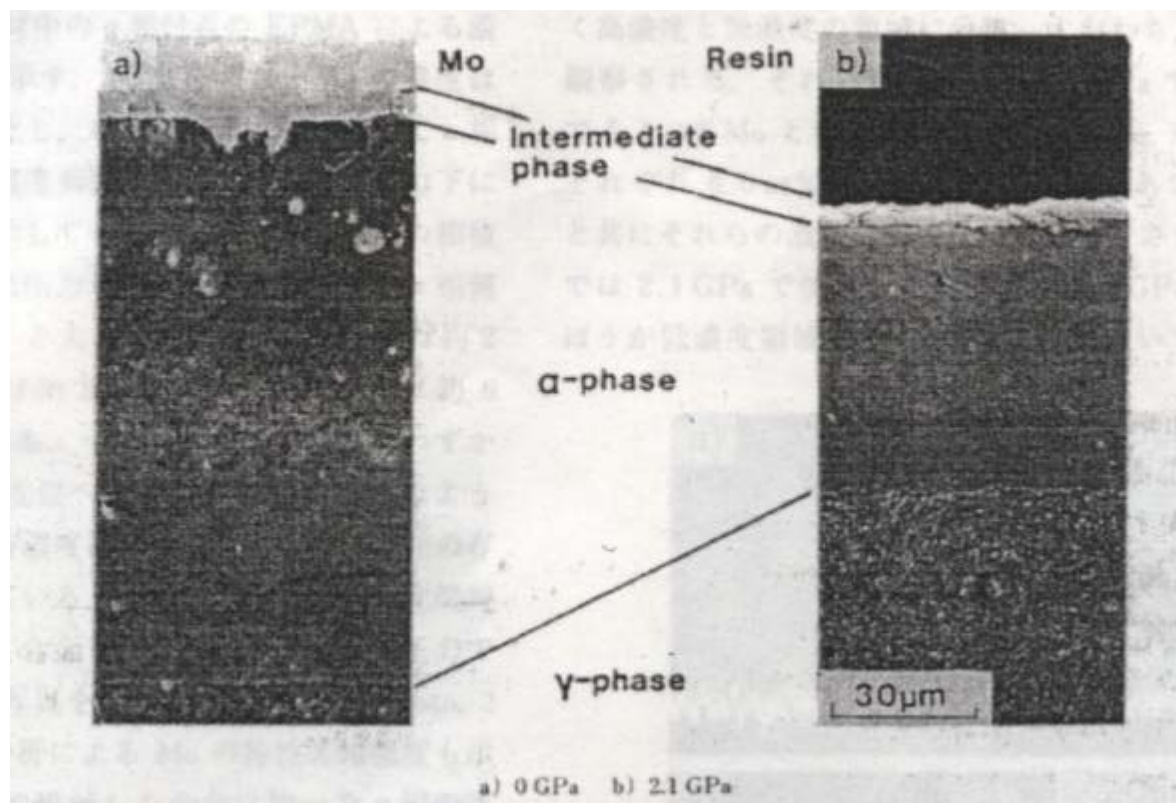


図5 各種圧力下で1100℃、4時間拡散焼鈍した時の拡散対のSEM組織写真

狭い、高圧力下の中間相については、生成した中間相が脆いため高圧力下で焼鈍した拡散対を高圧力セルから取り出すときに拡散対がその中間相で分離した。そのため、中間相の層厚に対する高圧力の影響は調べることができなかった。相境界濃度は、拡散(参考文献20)が速く相成長の大きい α 相の存在濃度範囲は明瞭であり精度よく決定できるが、 γ 相やMo相のような高融点金属は拡散が遅く拡散距離の短い相はその相境界濃度の測定に誤差を導入しやすい。さらに、中間相の層厚が薄くEPMaの濃度分析の空間分解能に近いときは精度よい濃度分析はできない。本研究の中間相の層厚は数 μm と薄いためその組成範囲は精度よく決定することはできなかったが、約3.6~4.2 at% Mo程度の組成であり、Kubaschewski(参考文献7)による0 GPaのFe-Mo系状態図に示される中間相に対応する濃度である。本研究では主として層厚の広い α 相の存在範囲について研究した。以

下、 $\gamma / (\alpha + \gamma)$ 相の境界濃度は γ ループの γ 相側濃度、 $\alpha / (\alpha + \gamma)$ 相の境界濃度は γ ループの α 相側濃度、そして $\alpha / (\alpha + \text{中間相})$ の境界濃度は α 相の固溶線と記述する。

拡散対法による測定値と平衡濃度との一致に関して今まで数多く議論されている（参考文献14～19）。拡散領域中の相境界では相境界面の移動やその界面を通しての物質移動があるため界面をはさむ両相間の化学ポテンシャルに差異が生じるので、局部平衡の概念は近似的なものになり平衡濃度と相境界濃度は厳密には一致しなくなる（参考文献15）。しかし、Fickの第一法則からも明らかのように、界面移動量や界面を通しての物質移動量は拡散時間と共に急激に減少するので、短い拡散時間中に相境界濃度は一定の界面濃度（本質的には平衡濃度に近い）に達し局部平衡が成立すると考えられる（参考文献16）。すなわち、拡散現象が局部平衡であり相境界濃度が時間により変化しないときには、ある温度で拡散焼鈍した拡散対の濃度距離曲線の相境界濃度はその温度での平衡状態図に示される平衡濃度に極めて近い値を示す。図4に示すように、パラメータ $(x/t^{0.5})$ で濃度距離曲線を整理するとそれらの曲線は拡散時間に依存しないで重なり、各相の濃度が拡散時間によらず一定である。これは本系の拡散現象が局部平衡であることを示し各相の境界濃度は平衡濃度に極めて近いと考えてよい。一方、平衡状態図については、Hansenの状態図（参考文献6）は1930～1950年代に公表された研究に基づいており、その信頼性については疑問が残る。1982年のKubaschewski（参考文献7）の鉄系の状態図集に比べるとFe-Mo系では γ ループや α 相の存在範囲だけでなく中間相の存在について大きく異なっている。後で述べるように（図10）、Kubaschewskiの状態図と0GPaでの本研究結果はよく一致している。

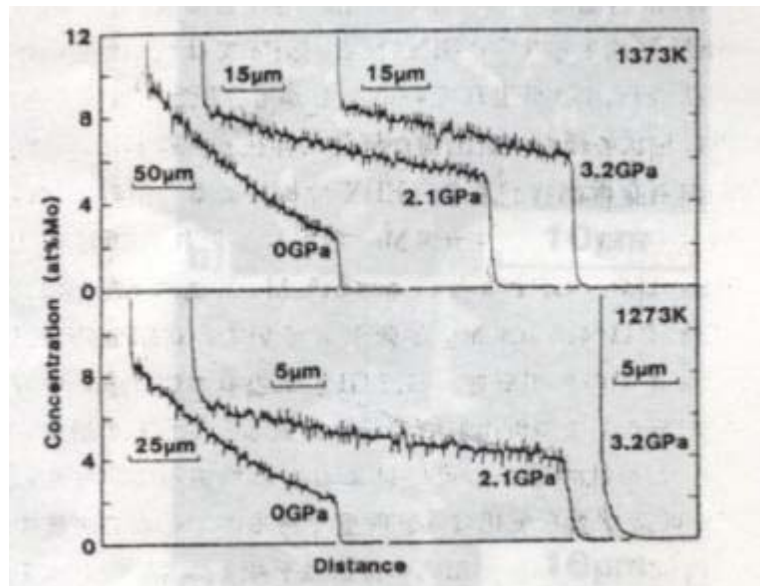


図6 各種圧力下で1100℃及び1000℃、8時間焼鈍した時の拡散対の濃度プロファイル

図6に各圧力下で1100と1000℃にて8時間の時間で焼鈍した拡散対中の α 相付近のEPMAによる濃度分布の測定結果を示す。1100℃では、Moの濃度は α 相内で緩やかに変化し、中間相から α 相へそして α 相から γ 相へと大きな濃度飛躍があり、すべての圧力下において同様の形状を示している。しかし、それらの相境界濃度については、高圧力を加えると γ ループの α 相側濃度は高Mo濃度側へと大きく移動し、0GPaでは約2at%Mo、2.1GPaでは約5at%Mo、3.2GPaでは約6at%Moと増加している。一方、 α 相の固溶度はわずかではあるが低Mo濃度側へと移動している。このように高圧力は γ 相の存在濃度範囲を大きく広げ、 α 相の存在濃度範囲を狭くしている。 α 相内で十分に均一化焼鈍したFe-4.66at%Mo合金を1100℃、2時間、各圧力で焼鈍した後のSEM写真を図7に示す。

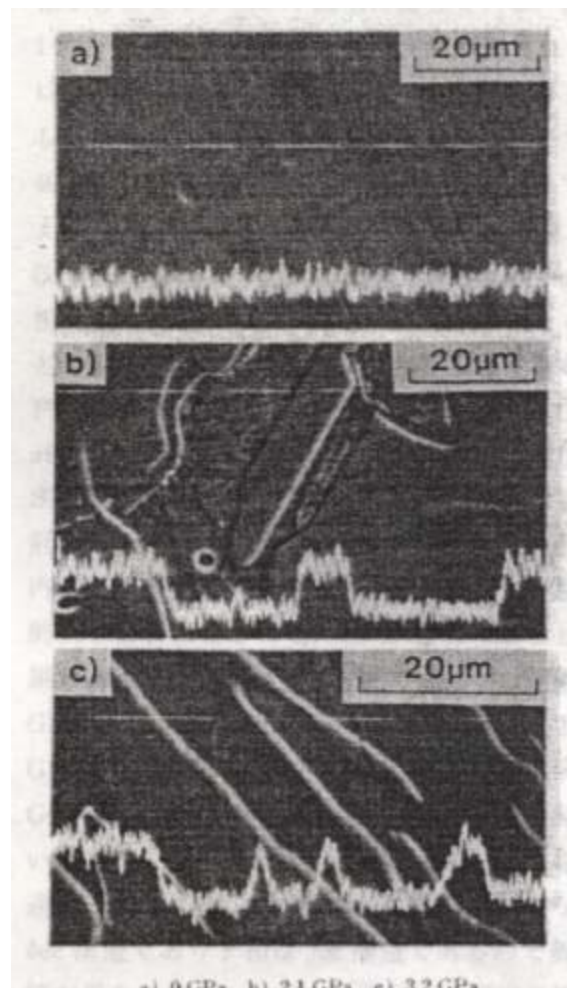


図7 各種圧力下で1100℃、2時間焼鈍した時のFe-4.66at%Mo合金のSEM組織写真

図7中にはEPMAの線分析によるMoの特性X線強度も示している。0GPa下で焼鈍した合金は均一な α 相のみであるが、高圧力下で焼鈍した合金は濃度が均一でなく高濃

度と低濃度の領域に分離、すなわち、2相分離が観察される。それらの濃度は、2.1 GPaでは高濃度側で5.1 at%Moと低濃度側で3.5 at%Mo、3.2 GPaではそれぞれ6.0 at%Moと4.2 at%Moであった。高圧力と共にそれらの濃度は高くなっていく。さらに、組織上では2.1 GPaで焼鈍した合金より3.2 GPaでの合金のほうが低濃度領域が多い、1100°Cにおいて、合金濃度の4.66 at%Moは0 GPaでの γ ループの α 相側濃度の2.1 at%Moより大きいので、その合金は0 GPaでは α 相領域に存在し α 相のままである。2.1 GPaでは、 γ ループの α 相側濃度は約5 at%Moなので4.66 at%Mo合金は($\alpha + \gamma$)相領域の α 相側寄り、そして3.2 GPaでは γ ループの α 相側濃度は約6 at%Moと広がるのでその合金は($\alpha + \gamma$)相領域の γ 相側寄りに存在することになり2相分離する。2相分離による低濃度領域が2.1 GPaより3.2 GPaで多くなることはLever relation (こうかんの関係)より理解できる。このように γ ループは高圧力により大きく拡大することがわかる。

図6中の1000°Cでの0 GPaと2.1 GPaの圧力下の濃度分布の形状は1100°Cのものと同様であるが、3.2 GPaでの濃度分布は著しく様相が異なっており α 相が存在せず γ 相が中間相に接している。同様のことが750~1000°Cの温度においても観察された。図8に1000°Cで2.1 GPaと3.2 GPaの圧力で拡散焼鈍した拡散対のSEM写真を示す。

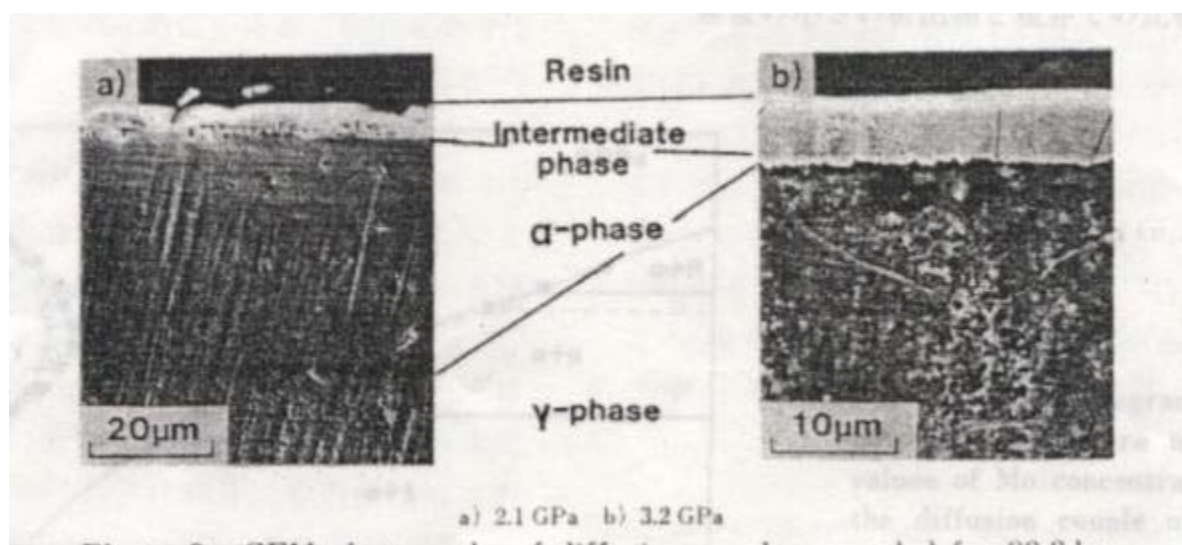


図8 高圧力下で1000°C、8時間焼鈍した時の拡散対のSEM組織写真

2.1 GPaでは α 相が約40 μ mの層厚で存在しているが、3.2 GPaでは α 相は見えず中間相と γ 相が接しているのが観察される。3.2 GPaでも温度の高い1050°Cでは約30 μ mの層厚の α 相が存在していたので、 α 相は3.2 GPaでは1000°Cと1050°Cの間の温度以下で存在しなくなるといえる。図9に α 相内で十分に均一化焼鈍したFe-8.26 at%Mo合金を970°C、4時間、各圧力で焼鈍した後のSEM写

真を示す。

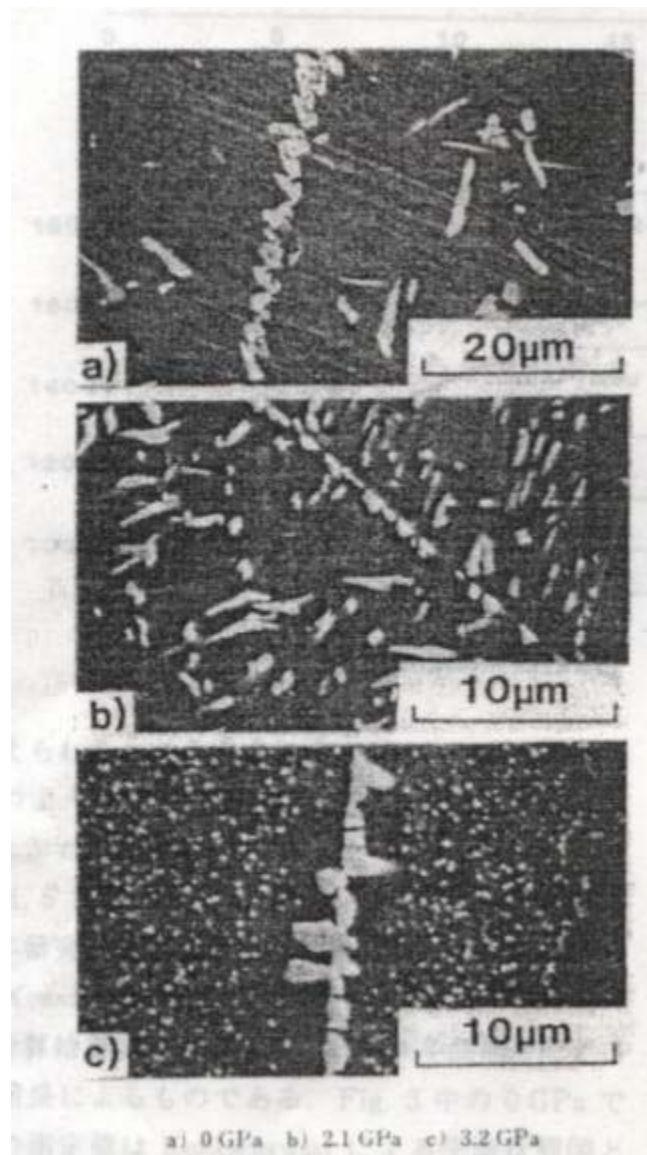


図9 各種圧力下で970℃、4時間焼鈍した時のFe-8.26at%Mo合金のSEM組織写真

0 GPaと2.1 GPaでは粒界と粒内に針状の析出物が現れている。しかし、3.2 GPaでは粒内に粒状の細かい析出物が無数に存在し、粒界には比較的大きな析出物がある。EDX分析によると、析出物の組成は33.4~36.4 at%Moであり、母相の組成は0 GPaと2.1 GPaは共に6.8 at%Moであったが、3.2 GPaでは4.4 at%Moと低下していた。0 GPaと2.1 GPa下での析出形態と3.2 GPa下のものには著しい違いがある。この析出形態の違いは主として母相の構造の違いと拡散の速さの違いによるものであろう。 α 相はbcc

構造であり γ 相は fcc 構造であるので析出の優先方位が異なったり、 α 相内の拡散は γ 相内の拡散に比べると約 100 倍程度速いので (参考文献 20)、0 GPa と 2.1 GPa では粒内で大きく針状に成長し、一方、3.2 GPa では粒内で無数の小さい析出物と粒界での比較的大きい析出物になったと考えられる。このように 1273 K 以下の温度では 3.2 GPa のような高圧力下では γ 相と中間相が平衡していることがわかる。

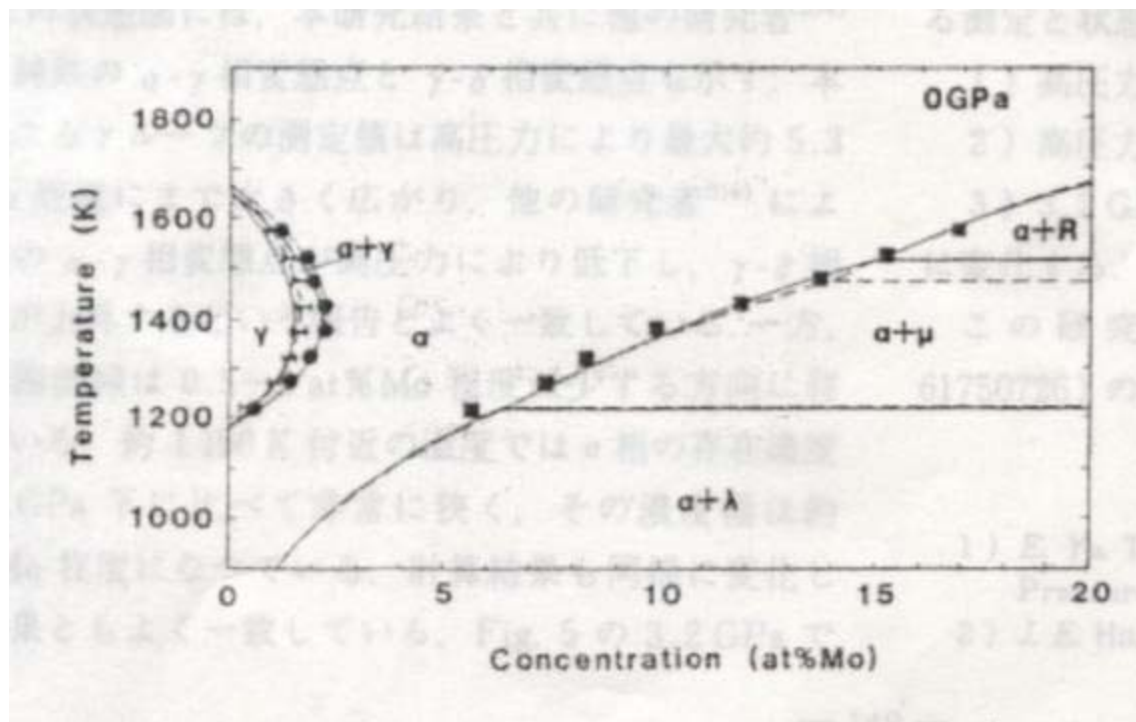


図 10 大気圧下の状態図における本研究結果と計算結果の比較

図 10, 11, 12 に 0 GPa、2.1 GPa、3.2 GPa の圧力下の状態図の本研究の測定と計算結果を示す。破線で示す平衡濃度は Kubaschewski (参考文献 7) の平衡状態図から引用したものである。図 10 中の 0 GPa での本研究の測定値は Kubaschewski による平衡状態図とよく一致している。計算結果は 0 GPa でのものであり、Nuessler ら (参考文献 21) によるものと同じである。図 11 の 2.1 GPa での状態図には、本研究結果と共に他の研究者 (参考文献 3, 4) による純鉄の $\alpha - \gamma$ 相変態点と $\gamma - \delta$ 相変態点も示す。本研究による γ ループの測定値は高圧力により最大約 5.3 at%Mo 程度にまで大きく広がり、他の研究者による純鉄の $\alpha - \gamma$ 相変態点が高圧力により低下し、 $\gamma - \delta$ 相変態点が上昇するという報告とよく一致している。一方、 α 相の固溶線は 0.5 ~ 1 at%

Mo 程度減少する方向に移動している。約 877°C 付近の温度では α 相の存在濃度域は 0 GPa 下に比べて非常に狭く、その濃度幅は約 1 at%Mo 程度になっている。計算結果も同様に変化し実験結果ともよく一致している。図 12 の 3.2 GPa では γ ループはさらに広がり高温側では α 相と平衡しているが、750 ~ 1000°C の温度範囲で γ 相と中

間相が平衡する測定結果が得られた。計算によると α 相は約 1007°C の温度で約 6.7 at%Mo の濃度で共析反応により消失し約 737°C 以下の温度で安定に存在することが計算され、縮小型の状態図に変化している。このように高圧力の相の存在領域やそれらの平衡濃度に大きな影響を与えることを定量的に明らかにした。

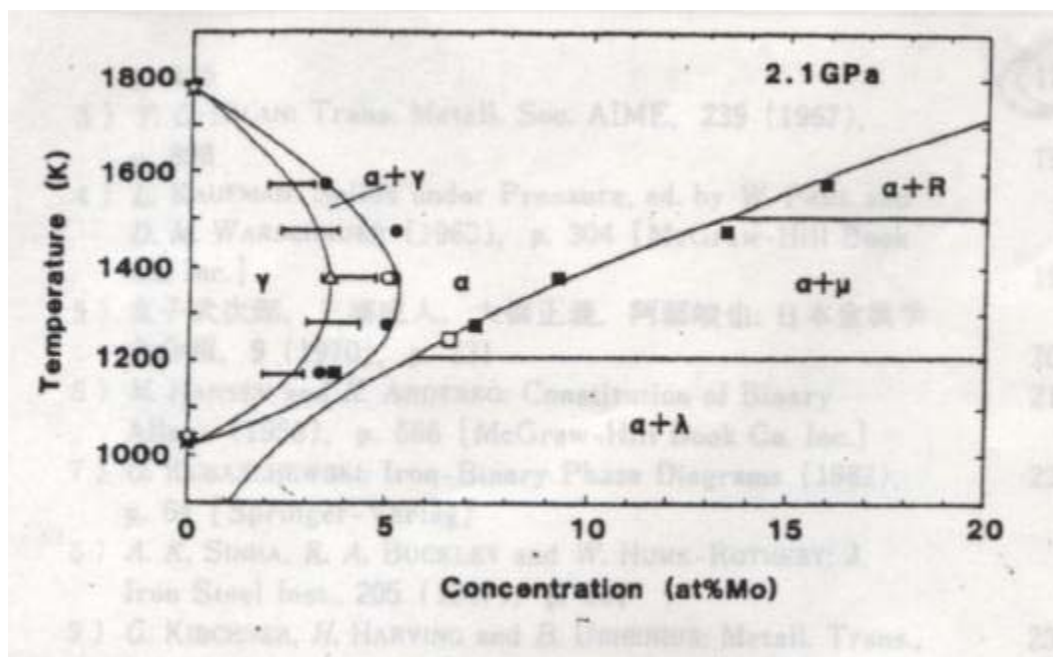


図 1 1 2.1GPa 下の状態図における本研究結果と計算結果の比較

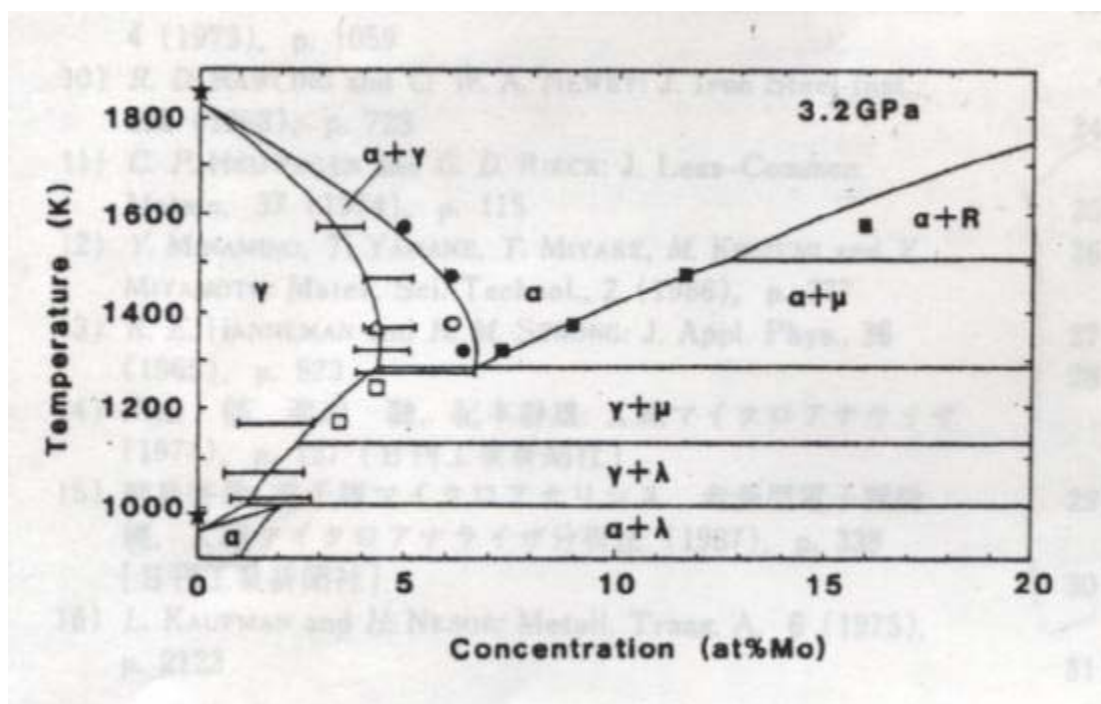


図 1 2 3.2GPa 下の状態図における本研究結果と計算結果の比較

(4) 結言

高圧力下のFe-Mo系のFe側状態図の拡散対法による測定と状態図計算により以下のことがわかった。

- 1) 高圧力により α 相の存在範囲が減少する。
- 2) 高圧力により γ 相の存在範囲が拡大する。
- 3) 3.2 GPaの圧力では γ ループは γ 縮小型状態図に変化する。

この研究の中心的キーワードである、高圧力と拡散現象が、筆者がその後開発に成功したターゲット材製造の大きなヒントになってきます。次項にその開発経緯を述べていきます。

2.2 HIP (熱間静水圧プレス) 法による工業化への応用

企業(日立金属株式会社)に就職後、ターゲット材の開発研究に取り組むことになった。一般的に、ターゲット材に要求される材料特性は、

- ① 高純度(99.99%以上の純度が必要)
- ② 高密度(高融点金属でも相対密度99%以上は必要)
- ③ 均質(合金系が多いが、その組成が均質でなければならない)
- ④ 微細、均一組織(結晶粒径は100 μ m以下が望ましい)
- ⑤ 大型化が必要(用途にもよるが、最低でも500mm角の製造は必要)

ターゲット材は様々な材質があるが、筆者はこのうち高融点材料、具体的にはW系、Mo系、Cr系の開発に多くの時間を費やした。これらの高融点材料で、前述した①~⑤の特性を満足させるには、溶解法より粉末冶金法による製法が有利であると、筆者は考えた。

その根拠は、

- (A) 融点が高いため溶解法は困難。
- (B) 仮に、特殊溶解で溶解出来たとしても、結晶粒径の肥大化が避けられない。
- (C) 結晶粒径が肥大化するので、溶解後の塑性加工が困難になるため、大型化が極めて困難。
- (D) 溶解法だと混ざり合わない金属が存在し、均質化が困難。

である。一方、粉末法では融点が3000 $^{\circ}$ C前後の高融点材料は、融点が高いため焼結性が悪く高密度化が困難であることが予想される。この打開策として、前項で述べた、超高圧下での金属材料の挙動基礎研究から高融点金属材料の製造には、粉末に圧力を加えながら焼結する方法、いわゆる加圧焼結が有利であると考えた。

工業的に比較的大型でかつ高圧力が発生可能な手法としては、ホットプレス法とHIP法の2つが考えられる。

両者の圧力発生機構を図13に、長所と短所を図14にまとめた。

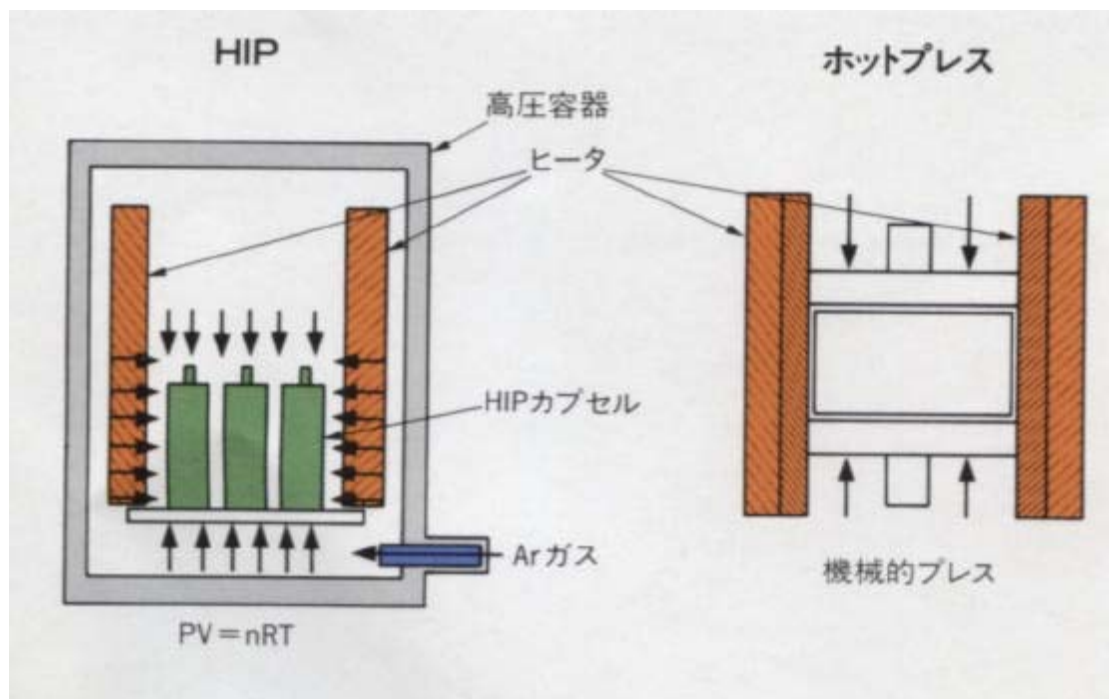


図13 圧力発生機構の比較

項目	HIP	ホットプレス
素材カプセル	Fe または Mo 缶	カーボン型
温度 (°C)	最高 2200	最高 1500
圧力 (MPa)	100 ~ 200	20 ~ 50
圧縮方向	等方的	上下一軸方向
ニアネット成形	難	易

図14 HIP とホットプレスの特性比較

下記の総合的判断で、HIP法を選定し、開発を推進すると決定した。

- (イ) 絶対的な発生圧力がHIPの方が大きいので、達成密度面で有利。
- (ロ) 特に、大型化が進む中で、メカ機構により圧力発生するホットプレスには限界が存在する。
- (ハ) 圧力の低いホットプレスで密度面を補うには焼結温度を上昇する手段しかなく、組織の肥大化が避けられない。
- (ニ) HIPは、設備コストが高いが、HIP炉への占有率を上げる（大量生産）ことで低

コスト化の見通しがある。

以降、HIP法を使った開発で、筆者の代表的開発アイテムである“低パーティクルTiWターゲット材”の例を上げ、研究成果を報告する。

(1) 開発目標

TiWターゲット材の用途は、半導体デバイス中のAl配線の信頼性を高める目的に使用されるバリアメタルである（参考文献22～25）。

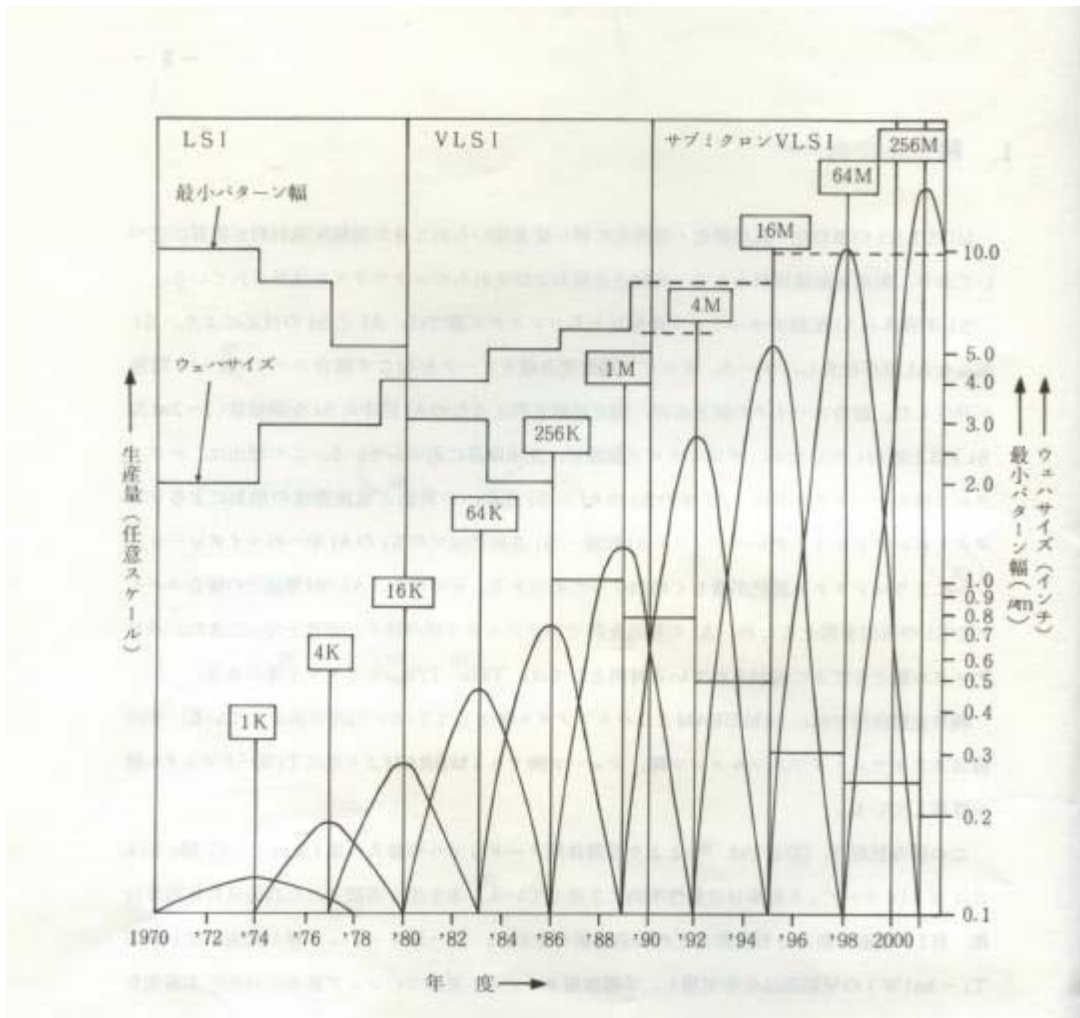


図15 DRAMサイクルモデル図

図15にDRAMサイクルのモデル図を示す（参考文献26）。年々高集積化が進み、それに伴ない最小パターン幅が微細になっていくことがわかる。本ターゲット材は主として4MDRAM以降のサブミクロンVLSIに使用される。このサブミクロンデバイスで一番要求されることは、スパッタ膜中のパーティクル（異物）低減である。図16にデバイスの不良原因とパーティクルの検出例を示すが（参考文献27）、不良原因の50%以上

がパーティクル起因であることがわかる。配線幅の微細化に伴ない、さらにパーティクル起因の不良が増え、歩留り向上のためには、このパーティクルを低減することが最大の技術課題である。一般にパーティクルの発生は大きくわけて、装置起因とターゲット材起因があり、ターゲット材メーカーとして低パーティクル材を開発すれば、業界に大きなインパクトを与えることが出来る。また本ターゲット材も他の半導体ターゲット材同様99.999%（5N）以上（ただし、ガス成分は除く）の高純度は不可欠である。

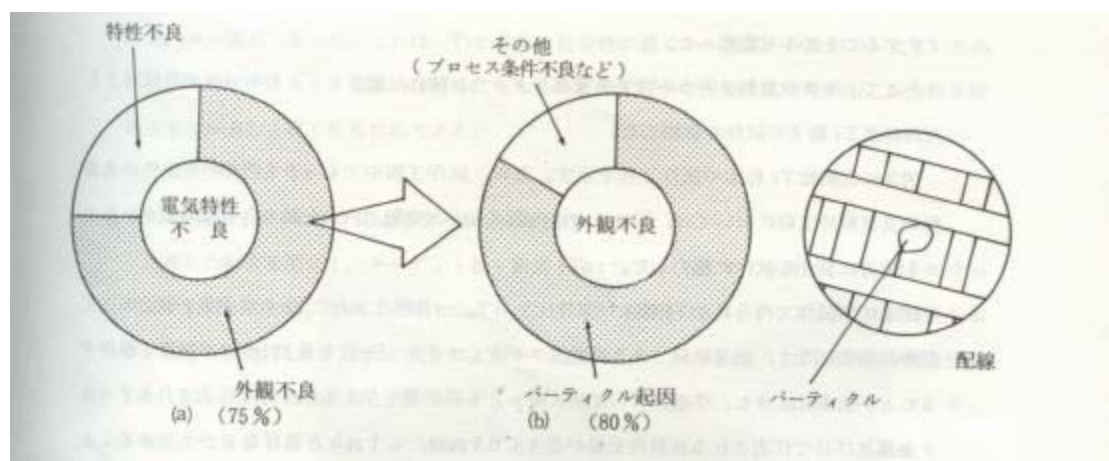


図16 不良原因とパーティクル検出例

以上に述べた低パーティクル化と高純度化を主眼におき、その他顧客の要求を含め本研究の開発目標を図17に示した。

項目	開発目標	備考
純度（ガス成分除く）	99.999%以上	顧客要求
酸素量	600ppm以下	
放射性元素	1ppb以下	
相対密度	99.9%以上（14.5以上）	低パーティクル化
マイクロ組織	微細均質組織	

図17 Ti-Wターゲット材の開発目標

(2) Ti原料の検討

(2-1) 高純度Ti粉末の試作

本研究でまず直面した第一のハードルは、高純度でかつ微粒のTi粉末が入手できなかったことである。W粉末に関しては、5N以上の高純度粉末は容易に入手できたが、Ti粉末に関しては、4N以上のものはなく（特にFeの含有量が高い）、開発目標である製品純度5N以上をクリアすることは不可能だった。

そこで、チタン原料メーカーであるA社に、電子ビーム溶解材を出発原料とした高純度Ti粉末の試作を依頼した。

図18に高純度Ti粉末の試作工程を示す。なお、試作工程中でもっとも汚染の危険性のある粉碎及び解砕工程においては、日立金属(株)よりW内張りポットとW製ボールを組み合わせた専用ボールミルをA社に提供し、試作に協力した。

[スポンジTi] - [EB溶解] - [切削] - [水素化] - [粉碎] - [脱水素]
- [分級] - [Ti粉末]

図18 高純度Ti粉末の試作工程

図19に本試作で得られたTi粉末の諸特性を示す。

Fe	Ni	Al	Cu	Na	K	U	O	粒度
21	8	5	2	< 0.1	< 0.1	< 1	2880	< 65

(Uはppb、他元素はppm)

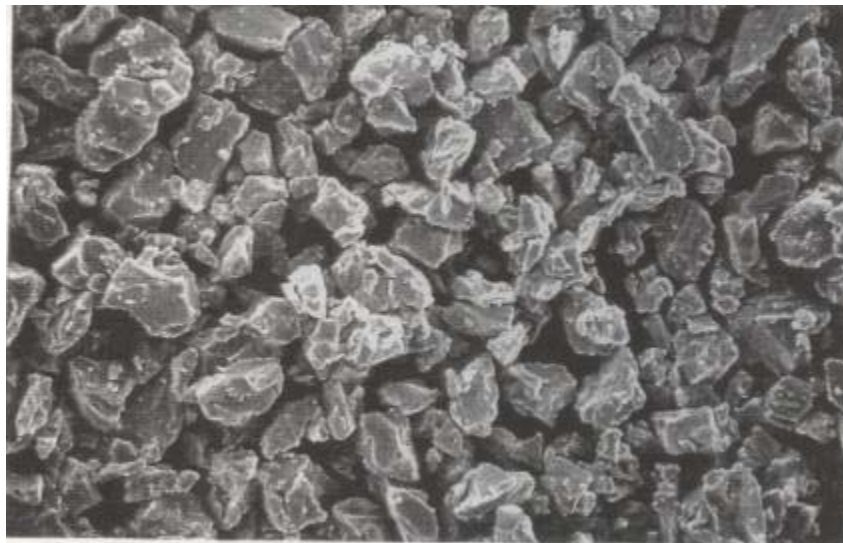


図19 A社製Ti粉末の諸特性

一番懸念されたFeの含有量が21ppmと工程中の汚染がなく、出発原料である高純度スポンジチタン(Fe含有量20ppm)の純度を維持することが出来た。また、半導体デバイスに最も悪影響を及ぼすNa, Kで代表されるアルカリ金属及びUで代表される放射性元素が各々< 0.1ppm, < 1ppbと良好なレベルであることも分かった。本ターゲット材組成のTi濃度が10wt%であり、かつ5N5以上の高純度W粉末が入手可能であることを考慮すると、純度的には目標であるターゲット純度5N以上を達成するには、

今回試作した4N5レベルのTi

粉末は使用可能である。一方、原料粒度の面から見ると、焼結性は粒度が小さい方が有利であるが $< 6.5 \mu\text{m}$ が限界であった。これは、Tiが非常に粉砕性が悪くかつ酸素との親和力が大きいため、これ以上細かくすると、強制的な粉砕になるため粉砕工程中の汚染の危険性が生じ、かつ粉末酸素含有量が著しく高くなるためである。

(2-2) Ti粉末 ($< 6.5 \mu\text{m}$) によるターゲット材の試作

上述した粉末を用いて、ターゲット材 (組成10wt%Ti-balW) を試作した。図20に今回の試作工程を示した。なお、W粉末はB社製の5N5クラス (図21に諸特性を示す) のものを使用した。また、混合は工程中の汚染防止のためW内張りの円筒型混合機を使用した。図22に試作の結果得られたターゲット材の純度、密度及び組織を示す。ターゲット材純度は目標である5N以上をクリアした。

[W粉末 90wt%] + [Ti粉末 10wt%] - [混合] - [HIP]

図20 Ti粉末を使用したTi-Wターゲット材の試作工程

Fe	Ni	Al	Cu	Na	K	U	O	粒度
0.7	0.1	< 0.5	0.2	< 0.1	< 0.1	< 1	214	3.7

(Uはppb、他元素はppm)

図21 B社製W粉末の純度及び粒度

酸素含有量も500ppmと目標である600ppm以下をクリアしている。また、1250℃、5時間、1000気圧の条件でHIP処理したターゲット材密度は 14.6g/cm^3 であった。これは、計算で求めた理論密度値 14.55g/cm^3 を上回り、十分に圧密化されている。10wt%添加したTi粉末が焼結助剂的な働きをしたため容易に焼結が進み、上記の一般的なHIP条件でも十分に圧密化されたものと考えられる。一方、ターゲット材のマイクロ組織を観察すると、2相より構成されていることがわかる。白色部の微細な粒がW相で、黒色部がTi相である。Ti粉末粒度が $< 6.5 \mu\text{m}$ と粗いため、Ti粉末がそのまま残存した粗大Ti粒が目立つ。

本試作結果を元に、顧客と協議の結果、純度及び密度は満足するレベルであるが、粗大Ti粒の存在がパーティクル発生に対して好ましくないと指摘された。一般に多相構造のターゲット材を用いた成膜で、低パーティクルを図る場合、マイクロ組織を微細でかつ均質にすることが有効であると考えられている。このため、より微細なTi粒を有したターゲット材に改良する必要がある。

	Fe	Ni	Al	Cu	Na	K	U	O	密度
目標値	Fe+Ni+Al+Cu で10以下				0.1 以下	0.1 以下	1以下	600 以下	14.5 以上
測定値	3	1	1	1	<0.1	<0.1	<1	500	14.6

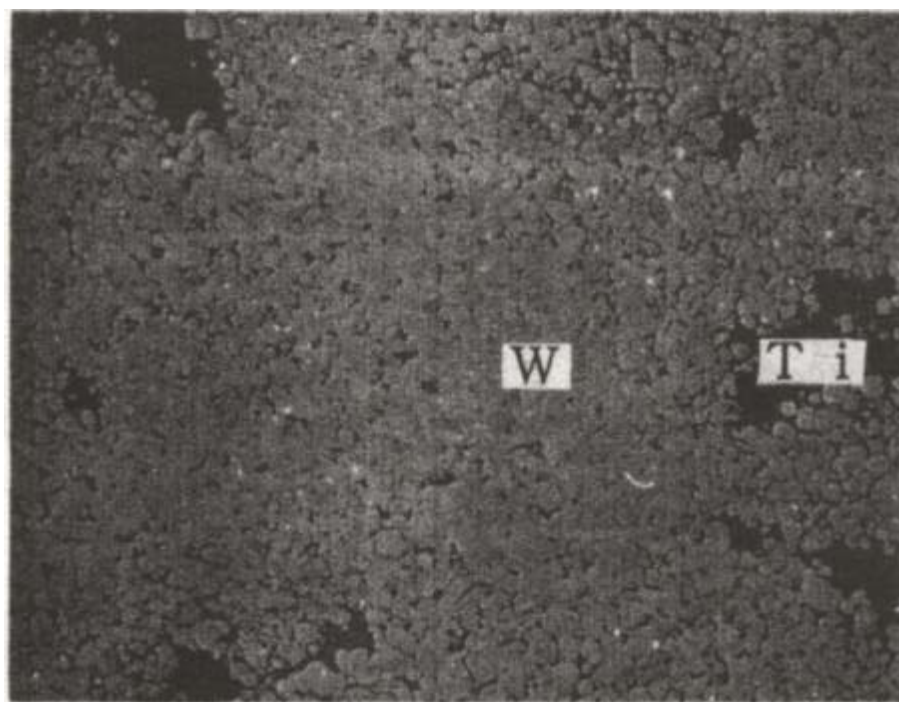


図22 Ti粉末による試作結果

(2-3) TiH₂粉末の検討

既存のTi粉末を使用した場合、先にも述べた様に微粒化には限界がある。そこでTi原料をTi粉末からTiH₂粉末に変更することを考えた。TiH₂粉末は、図18に示す様にTi粉末製造工程中の中間生成物であることがわかる。TiH₂粉末はTi粉末と比較し、著しく粉砕性が良く、また酸素との親和力が低いことが知られている(参考文献28)。このことを利用し、TiH₂粉末を使用した微粒化プロセスを検討した。具体的には、W粉末(4μm)とTiH₂粉末(<150μm)をW内張りの専用ボールミルによりAr雰囲気中で粉砕しつつ混合し、微粒でかつ均一な混合粉末を得るプロセスである。図23にTiH₂粉末を使用した場合のW粉末との混合粉末の外観の一例を、従来のTi粉末を使用した場合と比較して示した。TiH₂粉末を使用した効果は顕著であり、TiH₂粉末が微細で均質に分散されている。一方、混合粉末の酸素含有量に着目すると、TiH₂粉末が酸素との親和力が低いといえども、粒度が細かくなると、酸素含有量の増加は不可避である。図24にボールミル混合条件と混合粉末の酸素含有量及び粒径の関係を示す。

Ti 粉末使用

TiH₂粉末使用

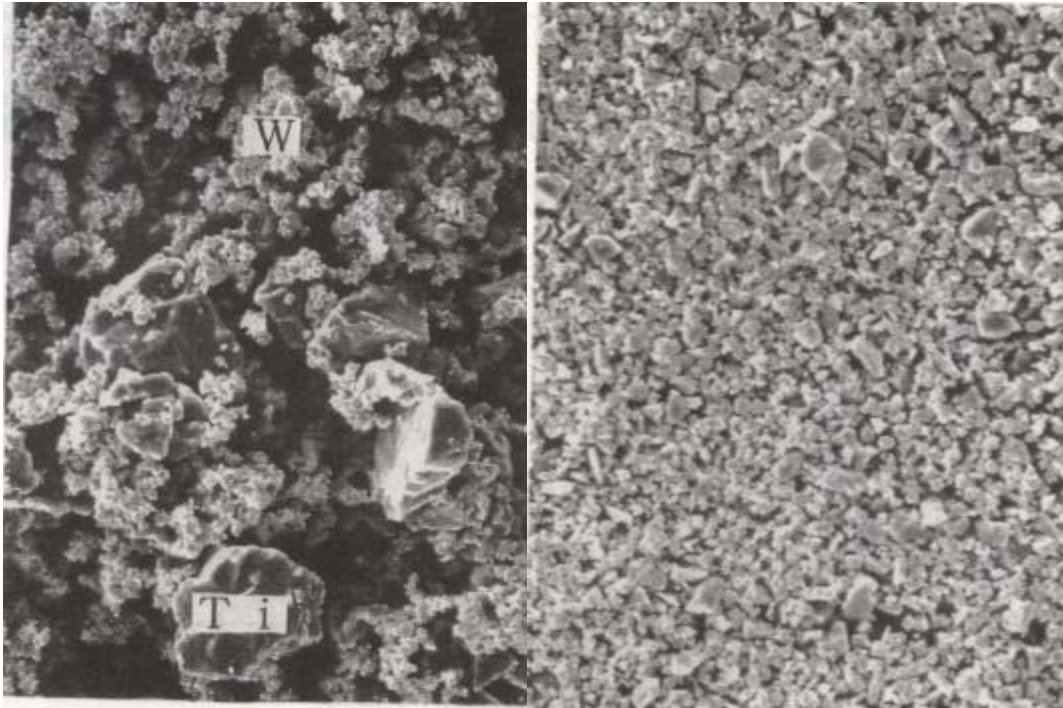


図 2 3 混合粉外観比較

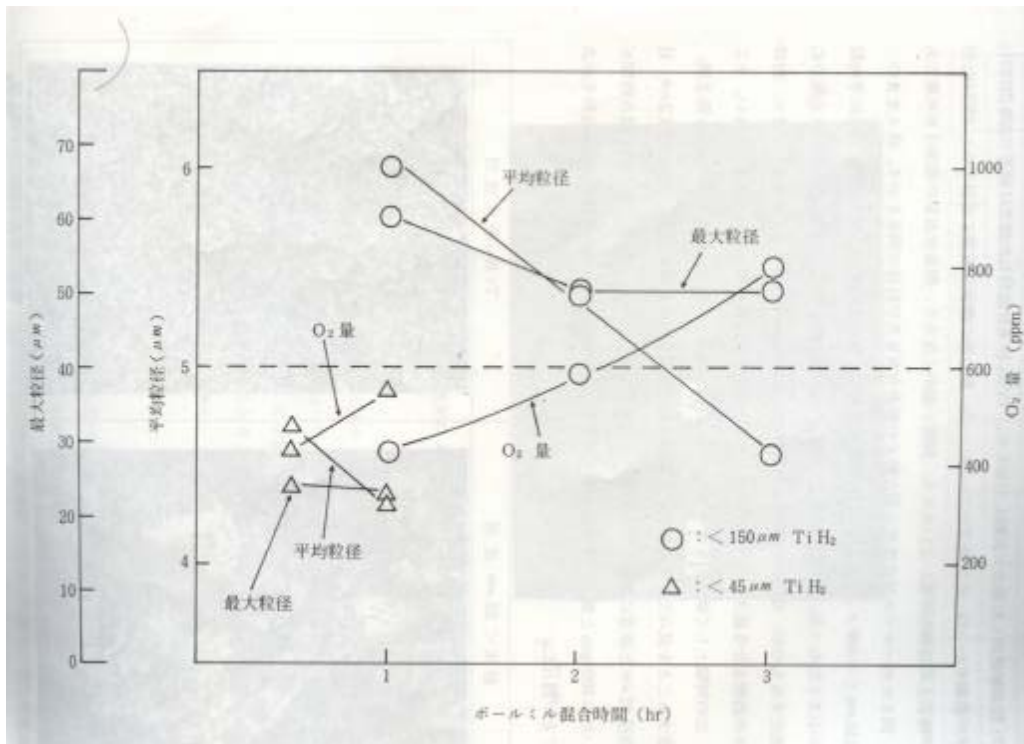


図 2 4 混合条件と酸素含有量及び粒径の関係

購入ままの $<150 \mu\text{m}$ (100メッシュ) のTiH₂粉末を使用し、混合した場合、混

合時間とともに平均粒径が小さくなる一方、酸素含有量は増加して行く。3時間の混合では、平均粒径は $4.5\ \mu\text{m}$ と十分に微細化するものの、酸素含有量は $800\ \text{ppm}$ と目標である $600\ \text{ppm}$ 以下をクリア出来ない。また粉碎残りの指標となる最大粒径は $50\ \mu\text{m}$ と大きく、粗大 TiH_2 粉末が残っており好ましくない。そこで、この対策として購入粉末を $45\ \mu\text{m}$ (325メッシュ)で分級し、粗大な TiH_2 粉末を除去後、混合することを試みた。その結果、1時間の短時間混合にも拘わらず、平均粒径 $4.2\ \mu\text{m}$ 、最大粒径 $22\ \mu\text{m}$ と非常に微細な混合粉末を得ることができた。一方、酸素含有量であるが、混合時間が短いため $580\ \text{ppm}$ と低く、目標値をクリアすることが可能となった。本対策が顕著な効果があることが分かった。

(2-4) TiH_2 粉末によるターゲット材の試作

上述した様に TiH_2 粉末 ($< 45\ \mu\text{m}$) を使用することにより、低酸素でかつ微細な混合粉末を得ることが可能となった。本混合粉末を用いてターゲット材 (組成 $10\ \text{wt}\% \text{Ti}-\text{balW}$) を試作した。図25に試作工程を示した。

[W粉末 $4\ \mu$] + [TiH_2 粉末 $< 45\ \mu$] - [混合粉碎] - [脱水素] - [HIP]

図25 TiH_2 粉末を使用した $\text{Ti}-\text{W}$ ターゲット材の試作工程

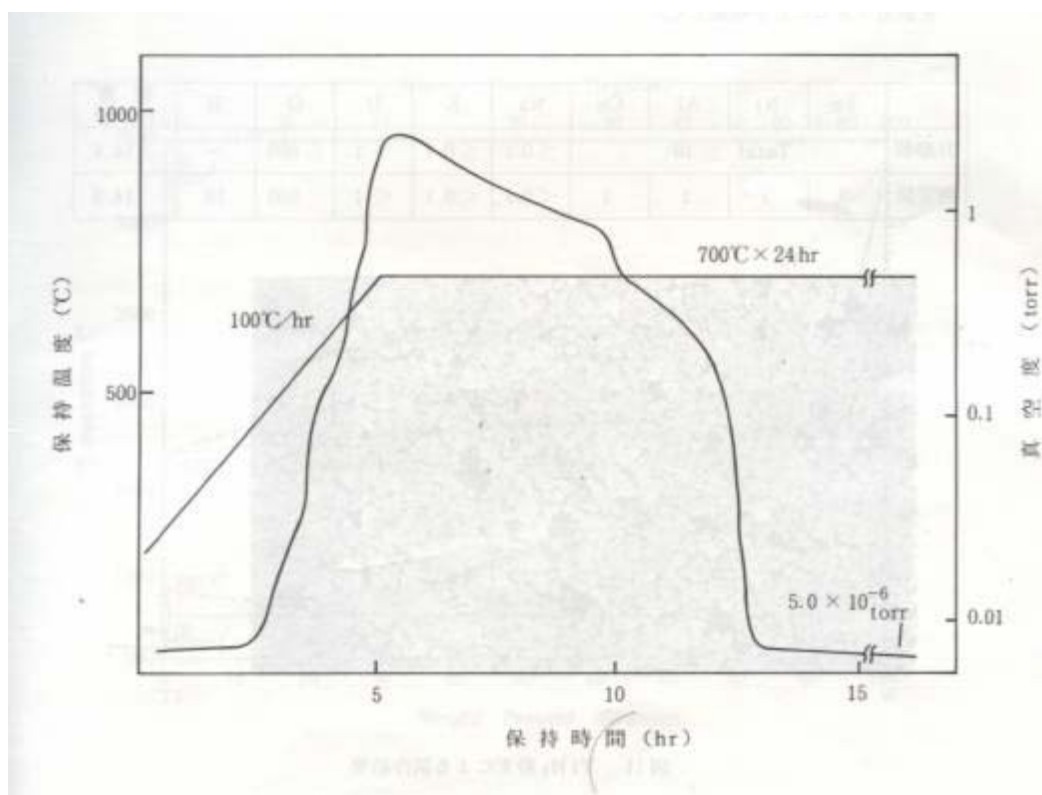


図26 脱水素工程の検討

本工程中TiH₂粉末の水素を除く脱水素工程の条件は、文献（参考文献29）より、700℃、24時間の条件で真空炉中で行った。図26に脱水素工程のヒートパターンとそれに対する真空度の変化を示す。昇温時（100℃/時間）500℃付近から急激に真空度が劣化し、水素が排出されはじめたことがわかる。700℃に到達した付近で真空度はピークに達し、その後5時間ほど断続的に水素が発生する。その後、高真空を維持し、最終的には 5.0×10^{-6} torrにまで達する。

	Fe	Ni	Al	Cu	Na	K	U	O	H	密度
目標値	Fe+Ni+Al+Cuで 10以下				0.1 以下	0.1 以下	1 以下	600 以下	—	14.5 以上
測定値	3	1	1	1	<0.1	<0.1	<1	560	10	14.6



図27 TiH₂粉末による試作結果

図27に試作結果を示す。純度的には、先にTi粉末を使用して試作した場合と同様の不純物分析値であり、目標である5N以上をクリアした。問題の酸素含有量も混合粉末以降の酸素上昇はなく、560ppmと目標をクリアした。また、TiH₂粉末を使用して懸念された残留水素含有量は10ppmであった。ターゲット材密度は、先の試作結果同様、14.6g/cm³と1250℃、5時間、1000atmのHIP条件で十分に圧密化されている。図22のTi粉末を使用した時のターゲット材マイクロ組織と比較すると、Ti粒（黒色部）が著しく微細になっており、TiH₂粉末を使用した効果が顕著であることがわかる。

本試作結果より、原料粉末としてTiH₂粉末を使用することによりTi粒の微細な“微細品”を製造できることを確認した。

(3) 拡散処理の検討

前述したTiH₂粉末を使用した“微粒品”より更に微粒でかつ均質なターゲット材を得るために、拡散熱処理を検討した。この検討も、前述した大学時代の研究がヒントである。

図28にTi-W二元系状態図を示す(参考文献30)。

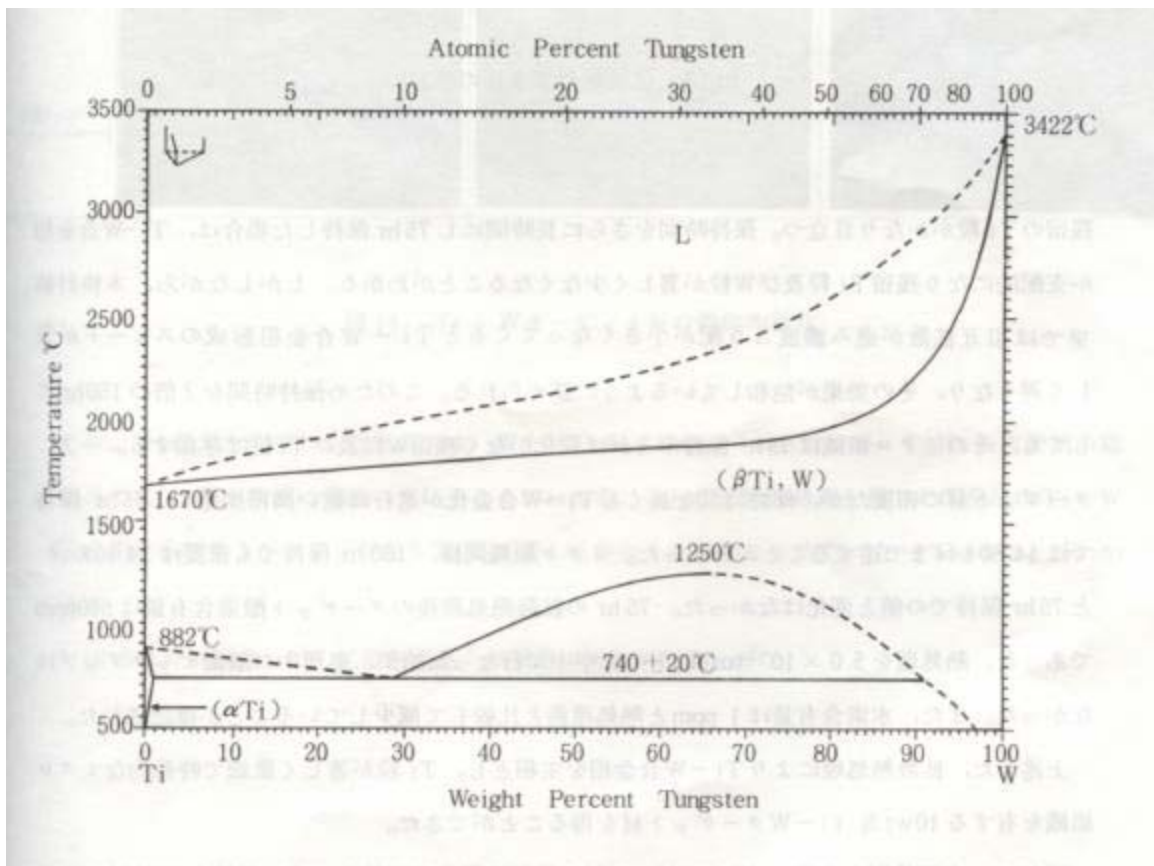


図28 Ti-W系二元状態図(参考文献30)

Ti-W系は、1250°C以上で全率固溶体を形成することがわかる。この現象を利用し“微細品”を高温で熱処理することによりTiとWを相互拡散させTi-W固溶体(以下合金相と呼ぶ)を形成することにより実質的に残存するTi粒子をより細かくすることを試みた。なお、熱処理温度としては、現在所有の真空炉の能力を考慮し、***°Cとした。図29に保持時間をかえた時のターゲット材マイクロ組織及び密度を示す。4時間保持後のマイクロ組織を観察すると、白色部のW粒子と黒色部のTi粒子の間に灰色部のTi-W合金相が形成されていることがわかる。これに伴ないTi粒子の占有面積率が小さくなっていくのもわかる。保持時間を24時間にした場合、Ti-W合金相の形成がさらに促進されるものの、まだ残留のTi粒子がかなり目立つ。保持時間をさらに長時間にし75時間保持した場合は、Ti-W合金相が支配的になり残留Ti粒子及びW粒子が著しく少なくなることがわかる。しかしながら、本検討結果では、相互拡散が進み濃度こう配が小さくなってくるとTi-W合金相形成のスピードが著しく遅くなり、その効果が飽和して

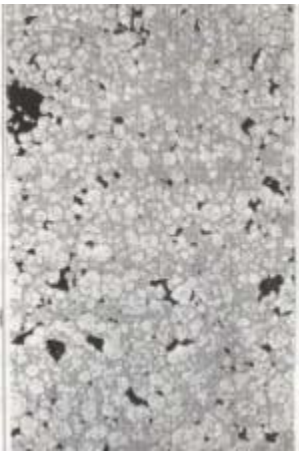


熱処理条件	***℃、4時間	***℃、24時間	***℃、75時間
ミクロ組織			
密度	14.65	14.75	14.80

図29 拡散熱処理条件の検討


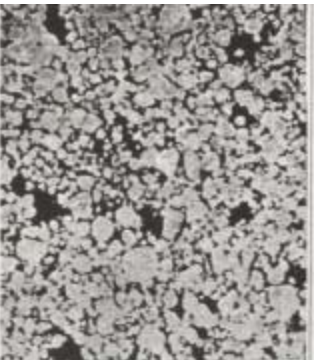




	従来品	細粒品	開発品
ミクロ組織			
EPMA			

図30 Ti-Wターゲット材の微粒均質化

いるように認められる。このため保持時間を2倍の150時間にしても、そのミクロ組織は75時間保持のそれとは変化がなく残留W粒子及びTi粒子は存在する。一方、ターゲ

ット材の密度だが、保持時間を長くしTi-W合金化が進むに従い高密度化し、75時間保持では14.80g/cm³まで達することが分かった。マイクロ組織同様、150時間保持でも密度は14.80g/cm³と75時間保持での値と変化はなかった。75時間の拡散熱処理後のターゲット材酸素含有量は560ppmであった。熱処理を5.0×10⁻⁵ torr以下の真空中で行った結果、処理中の酸素含有量の上昇はなかった。また、水素含有量は1ppmと熱処理前と比較して減少していることが確認された。

上述した、拡散熱処理によりTi-W合金相を主相とし、Ti粒子が著しく微細で特長的なマイクロ組織を有する10wt%Ti-Wターゲット材を得ることができた。

図30に、今回検討したTi-Wターゲット材の微粒均質化の経緯をマイクロ組織とEPMAによるカラーマップでまとめた。なお、EPMAのカラーマップは赤色がWで青色がTiとして色で区別した。Ti粉末を使用した従来品では、粗大なTi粒子（青色部）が目立つが、TiH₂粉末使用の微細品ではTi粒子が微細に分散していることがわかる。さらに、拡散熱処理を施した開発品はTi-W合金相（中間色）がメインとなりTi粒子が著しく少なくなり、より均質になっていることがわかる。

(4) 他社材との比較

今回開発した“拡散処理品”を顧客にPRしたところ、特長的なマイクロ組織が低パーティクル化に有効である可能性があるため、現在顧客が使用中でパーティクル発生で問題のある他社（X社、Y社）製ターゲット材と比較調査することになった。

今回の開発材と比較する形で調査した。

	Ti	C	Ni	Cu	Al	Fe	Na	K	U	O	H
X社	9.98	35	1	1	1	4	<0.1	<0.1	0.2	465	6
Y社	10.09	23	1	1	1	4	<0.1	<0.1	0.4	574	21
開発	10.08	22	1	1	1	3	<0.1	<0.1	0.3	592	1

(Tiはwt%、Uはppb、他はppm)

図31 主成分及び不純物分析結果

図31に主成分及び不純物の分析結果を示す。なお、分析方法は図32に示す。主成分であるTi濃度はいずれも10wt%前後である。Feの含有量は3~4ppmであり、いずれの材料も他の金属不純物元素と比較し若干高めである。これは原料であるTi粉末の純度の影響と考えられる。アルカリ金属（Na、K）及び放射性元素（U）はいずれの材料とも低い含有量で良好である。酸素含有量は、X社、Y社、開発材の順で低い。これは後述するが、ターゲット材マイクロ組織のTi粒子の大きさに依存している。水素含有量はY社が21ppmと著しく高く、原料としてTiH₂粉末を使用している可能性が高い。な

お、開発材は既に述べてるが、原料としてTiH₂粉末を使用しているものの、十分な脱水素及び最終拡散熱処理を施しているため水素含有量は1ppmと著しく低い。

項目	装置	試験方法	試験内容
Ti	天秤ばかり	化学分析	試料 0.5g 酸溶解 吸光光度法
O ₂	酸素窒素分析装置 (堀場 EMGA- 2200 S)	赤外線吸収法	試料 0.25g 2400 ~ 2600℃熱分解
N ₂		熱伝導度法	
C	炭素硫黄分析装置 (堀場 EMIA-520)	赤外線吸収法	試料 0.7g 高周波燃焼法
不純物 Ni, Cr, Cu	発光分光分析装置 (島津 ICPV- 1012)	誘導結合プラズマ発 光分析法	試料 0.5g 酸分解法
不純物 Al, Fe	原子吸光光度計 (日立Z-9000 日立180-80)	フレイムレス原子 吸光法	試料 1g 酸分解法
Na, K			
U	分光蛍光光度計 (日立F-2000)	蛍光光度法	試料 0.5g 固体蛍光光度法
密度	自動比重計 (東洋精機D-H)	水中置換法	試料 10g以上 小数点以下4桁まで 測定して計算
組織	走査型電子顕微鏡 (日立 S450)	2次電子像	#1500 研磨紙→Cr ₂ O ₃ 粒→ダイヤモンドペースト →アルミナ粒

図3-2 分析方法一覧

X社材	Y社材	開発材
14.58	14.37	14.81

図3-3 密度測定結果

図3-3に密度測定結果を示す。開発材、X社、Y社の順で高い。開発材が14.81g/cm³と高密度なのは、前述したように、拡散熱処理を施しTi-W合金相が主相になってい

るからである。X社材も拡散熱処理をしていなくてTi-W合金相がないと仮定すると14.58 g/cm³という値は十分に圧密化されていることを示している。Y社材の14.37 g/cm³は明らかに低密度であり、ターゲット材マイクロ組織中に空孔があることが予想される。

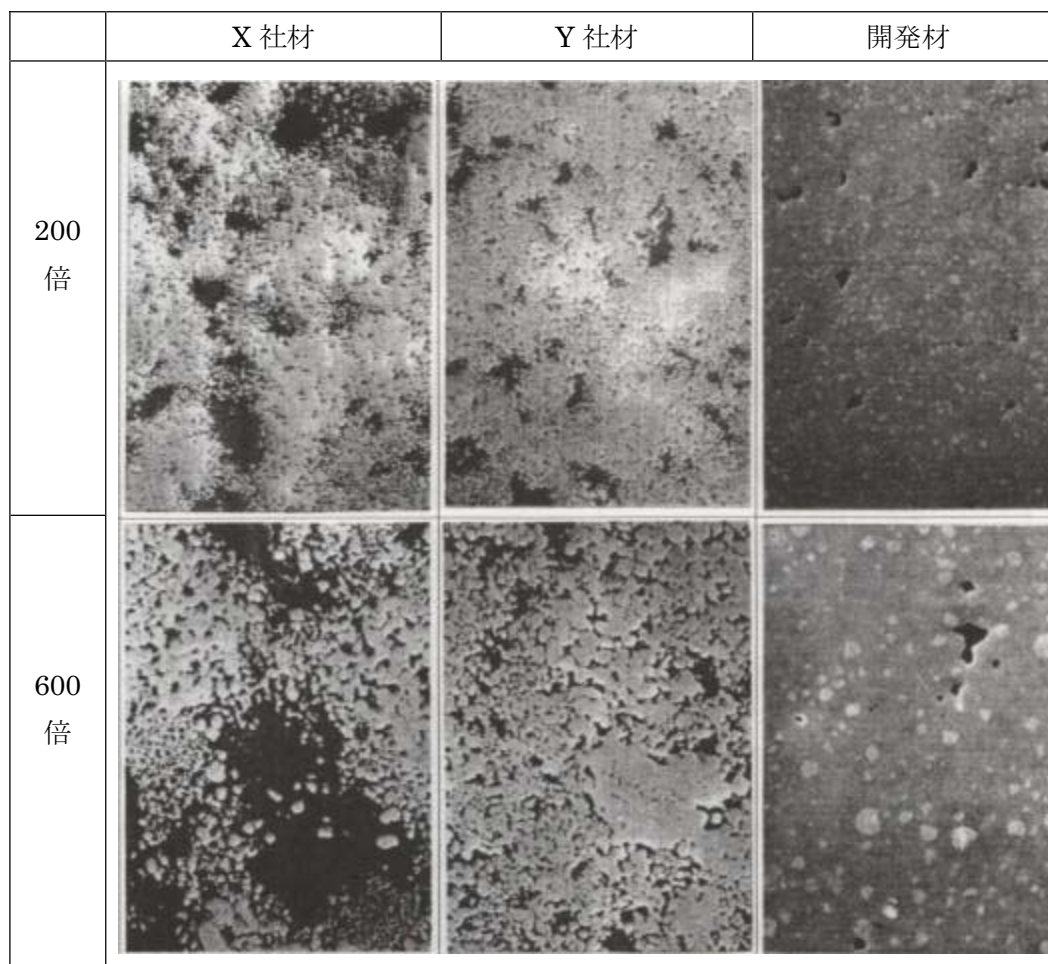


図34 ミクロ組織の比較

図34にマイクロ組織の観察結果を示す。X社、Y社にはTi-W合金相が観察されず、開発材の特長的なマイクロ組織は開発材独自の技術であることが確認された。X社材は明らかにTi粒子が粗大であることがわかる。Y社材はTi粒子は細かくなっているものの、予想通り、ところどころに空孔が観察される。

図35にEPMAによるカラーマップによりTiとWの分布状態を観察した。図30と同様赤色がWで青色がTiである。X社、Y社は赤と青すなわちWとTiが分離されている。特にX社材は粗大なTi粒子が目立つ。それに対し、開発材はTi-W合金相となっているので、色調が赤と青の中間色でありかつTi粒子は少ない。このことより開発材が最も均質でかつTi粒子が少ないことがわかる。

本調査結果を、顧客に報告したところ、開発材がパーティクル低減への打開策になる可能性ありとの見解で、サンプル評価が決定した。

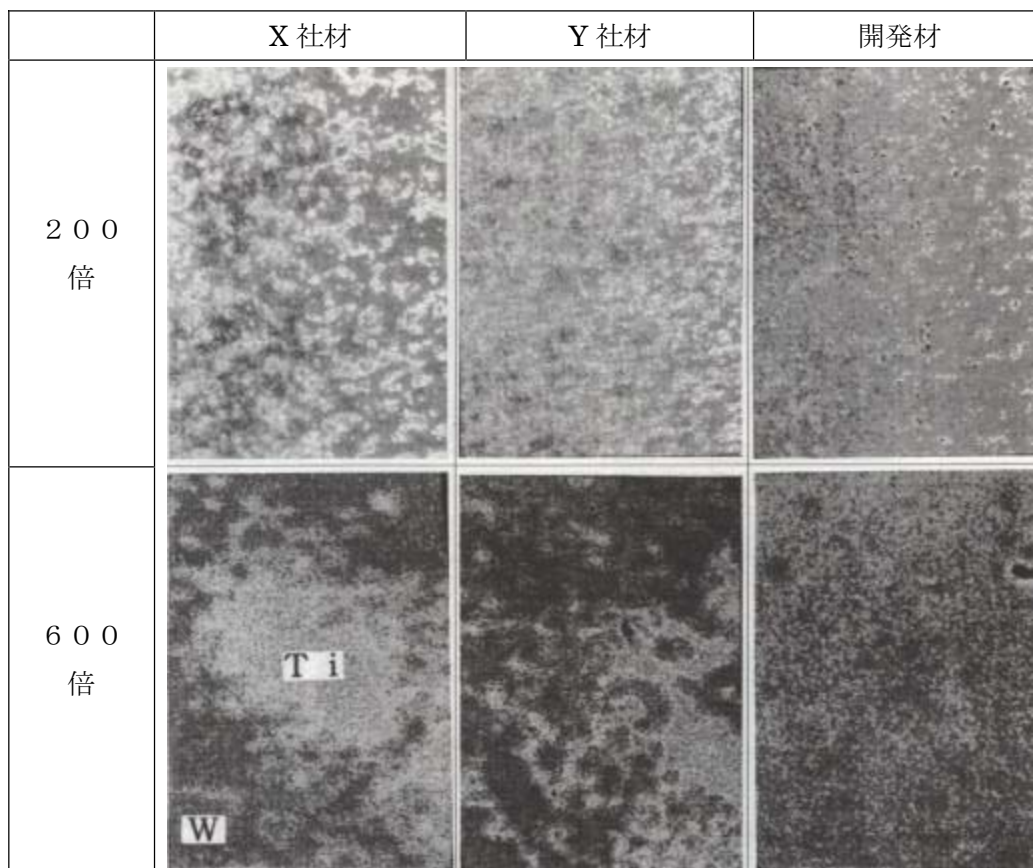


図35 EPMAによるカラーマップ

図36にサンプル評価結果の代表例を示します。狙い通り、パーティクル低減に効果があることが判明した。本結果は、業界に大きなインパクトを与え、開発材は業界の標準材料（デファクトスタンダード）になった。

本開発材に関しては、多数の特許を出願（末尾の特許リスト参照）し、他社の追従を防いだ。

デポ枚数	開発材	Y社材
0～300	3.1個	20.3個
300～600	26.3個	26.3個
0～600	15.6個	26.3個

図36 評価結果（パーティクル数）

(5) 水平展開

上記のTi-Wターゲット材の開発ポリシー即ち、

- ① 原料粉末の吟味を含めた、特殊粉体処理
- ② 熱処理、塑性加工等の金属組織処理による、マイクロ組織の微細化と均質化
- ③ H I P 処理による高密度化、大型化
- ①～③の組み合わせである。

これの水平展開により、様々な用途の様々な材質を商品化した。

図 3 8 に商品化した代表的材質を列挙した。

Related fields	Applications	Components
Semiconductors	For LSI electrodes	Mo-Si W-Si W Mo
	For LSI barrier metals	Ti-W Ti
	For LSI capacitors	Ta
	For Photomasks	Cr Mo-Si
Magnetic recording	For Hard disks	Co-Cr-Ta, Co-Cr-Pt(+α) Co-Ni-Cr
	Vertical magnetic recording	Co-Cr
	Under layer magnetic recording media	Cr, Cr-X(Horizontal) Ni-Fe(Vertical) Ni-Fe-Mo(Vertical)
	Thin-film magnetic heads	Ni-Fe
	MIG magnetic heads	Fe-Al-Si base Co-Zr-Nb, Co-Ta-Zr Fe-Ta, Fe-Ta-C Fe-Nb, Fe-Hf
Magneto-optical recording	Magneto-optical disks	Tb-Fe-Co, Dy(Gd)-Fe-Co Tb-Fe-Co-X Tb, Dy, Gd
Display devices	Liquid-crystal displays	Cr, Mo, Al Alloy, W-Si Ta, W, Cu
Thin-film resistor	Thin-film resistor Thermal heads Panel heaters	Ni-Cr Ni-Cr-Si base Ni-Cr-Si-Al base

Note: Targets other than those listed are available upon request.

図 3 7 製品化した商品群

このうち、特にヒットした商品とし、

- (A) 今回紹介した、半導体用の T i - W ターゲット材
- (B) ハードディスク用途の C r 系及び N i 系合金ターゲット材
- (C) 液晶用途の C r 系、M o 系大型ターゲット材

が挙げられる。

第3章 ターゲット材の事業化

前章で報告した通り、研究開発から製品化し、顧客からも製品を評価され、ヒット商品も登場した。その結果、ターゲット材製品の売上規模は大きくなってきた。図38に売上金額の推移を示す。

しかしながら、研究開発部門からスタートし、少しずつ売上規模が大きくなったことから、生産方式あるいは販売方式等が研究開発時代の手法の延長上であり、製品収益的にも生産規模的にも限界に来ている。言いかえると、今後の発展のためには事業化が必須の時期に来たと言える。

現状の方式の問題点としては、

- ① 生産方式が、工場内に余剰人員を抱えてるにも拘わらず、全て外製であり、費用の大半が変動費用であり、部内不可価値が殆どなく、増産利益が全く出ない。
- ② 生産規模が研究所レベルから脱してないため、製造歩留り、製造可能サイズ、製造能力的にも進歩が望めない。
- ③ 販売計画、販売手法も個人的情熱だけで実施しており、組織的形態になっていないため、競合他社対比弱い。
- ④ 製品構成が研究者の熱意により決定されており、戦略的でなく、むしろ趣味的あるいは総花的と言える。

上記の問題点を踏まえて、以降は事業化への展開について述べる。

3.1 事業戦略（マーケット動向、規模とシェア）

現在、我々のターゲット材が関与している、マーケットの業界は、大きく分けて3つの業界である。

- ① 半導体 ②ハードディスク ③液晶ディスプレイ の3つである。

それぞれの業界ロードマップを作成した。

図39に半導体業界のロードマップ、図40にハードディスク業界のロードマップ、図41には液晶ディスプレイ業界のロードマップを示す。

図39に示すように、半導体業界に関しては、配線ルールの微細化が年々加速され、それに伴ない、より低抵抗な材料への移行（具体的にはAl配線からCu配線への移行）及び、成膜方法のスputタリング法からCVD法への移行が予想される。ターゲット材メーカーからすると、CVD法への移行は、ターゲット材自体のニーズが消滅するので悲観的展望になる。また、我々のターゲット材商品から見ると、競争力のあったTi-Wターゲット材のニーズがCu配線に移行することにより消滅する。この2点より我々のターゲット材ビジネスの観点から見ると、半導体業界への展望は厳しいことがわかる。

次に図40に示す、ハードディスク業界であるが、驚異的なスピードで記録密度の高密度化が進む。この高密度化競争は、既存用途の範疇のみで考えると、一時的に高密度化

によるディスク数量の減少が考えられるが、高密度化（性能向上）により情報家電等の用途が広がることが予想され、全体市場規模から考えると、成長市場と見ることが出来る。一方、ターゲット材の材質からの観点から見ると、高密度化に伴ない、磁気媒体材質、下地層材質ともに多様化してくることが分かる。高密度化競争は開発速度が大きなポイントとなるため、顧客から要求される多品種の材質を短納期で対応することが、ターゲット材メーカーの差別化のポイントとなる。この点から見ると、様々な合金組成を安易に製造できるHIP法は、大変有利であり、弊社にとっては大きなアドバンテージになる。従って、市場成長率と弊社の強みの両観点より、ハードディスク用途は有望市場と判断出来る。

最後に図4-1に示す、液晶ディスプレイ業界であるが、業界戦略は、大型パネルを性能良くかつ安価で製造するとにより、現在のディスプレイ業界の主役であるCRTを凌駕し、その市場を拡大することである。まず大型パネルを安く製造するために、ガラス基板を大きくし、一枚のガラス基板から大量にパネルを製造する方式が取られ、年々ガラス基板の大型化が進行している。これに伴ないターゲット材の大型化も進み、ターゲット材メーカーとしては、このターゲット材の大型化対応が宿命になる。この点、弊社は大型HIP装置、大型熱間塑性加工装置を持っており、有利である。

一方、材質面であるが、大型パネルの性能向上を目的に配線材料の低抵抗化が進み、Cr系、Mo系、Al系、Cu系と顧客により様々な金属材料が使われるようになり、この点も合金系も含め、金属ならオールマイティで対応できる、弊社にとっては大きなアドバンテージになる。

従って、液晶ディスプレイ業界に関しても、弊社ターゲット材事業から見ると、有望市場である。

図4-3に上記の検討結果を簡単にまとめてみた。狙うマーケットはハードディスクと液晶ディスプレイである。ここに、力の集中を実施する。

図4-4に各市場の市場規模、成長率と弊社ターゲット材シェアの狙いを示す。成長分野である、ハードディスク、液晶ディスプレイ業界にてトップシェアを目指す。

3.2 事業計画書

2大成長市場でのトップシェア獲得を最終目的とし、事業計画書を立案した。大きな骨子は、下記。

- ① ストロングポイント（コアコンピタンス）強化による性能差別化
 - ・ 素材プロセスの多様化（真空溶解、HIP、熱間塑性加工、熱処理他）
 - ・ 液晶ディスプレイ用大型ターゲット材製造設備
 - ・ 成膜評価設備との組み合わせで提案営業（新材質提案）
 - ・ 試作ラインによる開発期間短縮
- ② 2大市場へ集中した営業拡販体制

- ・ 2大市場へ“選択と集中”
- ・ 専任営業体制（本社での全国統括営業体制）
- ③ 一貫ライン工場構築によるCS向上と利益体質強化
 - ・ 物流改善による多品種小ロット品の短納期対応
 - ・ 品質管理
 - ・ 能力増強
 - ・ 余剰人員の吸収による完全内製化による付加価値増
- ④ 革新的新技術によるコスト低減
 - ・ アトマイズ技術による再粉末化（リサイクル技術）
 - ・ 押湯レス真空溶解技術

この4点をベースにした、事業計画書の概要を図45に示す。

この事業計画を実行するため、筆者は研究所から工場に転属した。

3.3 一貫工場計画（工場設計）

事業化の拠点となる生産工場の設計に取り組んだ。

図46にターゲット材の製造フローを示すが、材料の特性により、多様な流れを取る。これを、今までの生産体制では、研究所の延長であったため、研究所内の粉体処理現場を除くと、外製先に頼った、つぎはぎ生産現場だったと言える。

ここで、問題点をもう一度整理すると、

- ① 物流は極めて複雑で非効率
- ② 自助努力での納期管理が困難
- ③ 自助努力での増産対応が困難
- ④ 顧客の安心感が得られない
- ⑤ 変動費が大半ゆえ、コストダウンも困難
- ⑥ 素材製造工程が研究所設備につき、大型化に限界

等が挙げられる。

一方で、工場内には従来品の成熟化に伴ない、余剰人員を多く抱えてる固有の環境もある。

上記問題点を踏まえ、下記の骨子で工場設計を実施した。

- (A) HIP設備等の一部の大型設備を除き、関連設備を集約（一貫工場建築）。
- (B) 集約により物流改善と顧客安心度の向上を図る。
- (C) 新規設備投資は、素材製造設備を重点的に実施し、その他の汎用設備は外製先より買取る。
- (D) 人員は、工場内余剰人員を活用し、内製化し限界利益率を向上する。
- (E) 生産管理及び品質管理システムを構築する。

この方針に添って、具体的な計画書を作成し、実行した。

以下に具体例を列挙します。

図47に新設設備の一覧を示す。

図48に移設（外製先からの買取り）設備の一覧を示す。

図49に設備関連日程を示す。

図50に生産能力増強計画を示す。

図51に人員計画を示す。

図52～62に工場レイアウト図（現状と一貫工場）を示す。

3.4 販売計画

成長業界であるハードディスクと液晶ディスプレイの2大業界のトップシェア獲得が目
これの拡販体制とその販売戦略を立案する必要がある。

ハイテク業界の動きは、非常に速く、これに対応するには情報の共有化と専門化が必要で
ある。

従来の営業スタイルは、顧客の場所により、担当の営業マンが決まるケースが多かった
が、これでは専門性が高く、変化のスピードの速い、ハイテク業界へは対応できない。

これに対応するため、ターゲット材専属営業チームを結成し、その中心を東京本社に置
き、大阪、九州、東北にも専属営業マンを配置した。各顧客から得た情報を本社のチーム
リーダーに集約し、リーダーが迅速な意思決定をして行くシステムである。

次ぎに販売戦略であるが、ハードディスク、液晶ディスプレイ両業界のターゲット材に
一番要求される拡販ポイント（顧客が一番要求している事項）は、各々下記である。

①ハードディスク業界攻略のポイント 開発スピード援助

- ・ 多様な組成系材料の短納期対応
- ・ 新しい組成系の提案

これに対応するため、

①-1 HIPプロセスの深耕と加工試作ラインの構築。

①-2 研究所にて顧客の装置と互換性のとれる評価用スパッタリング装置を新設
し、同様の評価を材料屋の知見より実施し、高特性が期待できる材料を顧客に提案
するシステムを構築する。

②液晶ディスプレイ業界攻略のポイント 製造難易度の高い大型ターゲット材の安 定供給

- ・ 能力増強
- ・ 安価提供

これに対応するため、

- ②-1 H I Pプロセス、熱間加工の強化
- ②-2 大型品の増産設備強化

上記の販売戦略を模式的に図6-3に示した。
具体的な、販売計画を図6-4に示す。

3.5 利益計画

今までの、投資計画、販売計画をベースに利益計画を立案した。

図6-5、6-6に利益計算書を示す。

図6-7には合理化明細も記載した。

この利益計算の結果、今回の事業化投資により、現時点では赤字商品であるターゲット材が、10%以上の利益が出る収益事業になる。

図6-8に、実際の事業業績推移を示す。本事業投資は、計画通りの効果があったことが分かる。

3.6 国内生産における課題

事業化投資により、ターゲット材事業は黒字化したが、その後の業績は頭打ちになってきた。

図6-9に2001年度の業績を示す。売上、利益ともに前年度比マイナスになっている。

この理由は、

- ① 日本国内マーケットの頭打ち（新しい市場、顧客が出てこない）。
- ② 強烈的な値引き圧力に対し、コストダウンが追従していない。

が大きい。

特に、マーケットの空洞化は深刻で、特に、我々が志向している液晶ディスプレイ業界のアジアへの移行は急ピッチで進んでいる。

このような市場環境の変化に対し、我々も行動を起こさないと、負け犬になってしまう。

これに対し、筆者が中心になって実行した、海外新会社の起業の詳細を次項で述べてます。

第4章 台湾生産拠点の起業（コーポレートベンチャーの実践）

4.1 背景（マーケット状況）

TFT液晶パネルは、新しいディスプレイとして急激に市場を増やしている。図70にTFTパネルの需要の伸びを示す。

一方、TFT液晶パネルの製造現場は、当初は“液晶大国日本”と呼ばれた様に、日本が独占的に製造してきたが、マーケットの伸びとともに、その製造現場は、韓国、台湾へシフトしてきた。図71に生産国別TFT液晶の供給動向を示す。

特に、近年は需要の多い大型汎用パネルを大量にかつ安く造るために、パネルの母材となるガラス基板の大型化が進み、大型基板を用いた新工場の建設ラッシュが始まったが、その大半が韓国（三星、LG）、台湾（友達、奇美、中華映管他）勢である。図72に液晶パネルの生産拠点推移の様子を簡単に示す。特に台湾勢の勢いは目を見張るものがある。図73には、台湾の新工場稼働計画を示す。又、近い将来の中国大陸の躍進も容易に予想される。

このように、我々のターゲット材のマーケットも日本からアジアに急速にシフトしてきた。このような、市場環境の変化に伴ない、ターゲット材メーカーの生き残りをかけた対応が迫られてきた。即ち、海外現地生産である。

以降、海外現地生産、具体的には台湾での新会社設立に至る、経緯、戦略、研究成果を述べて行きます。

4.2 戦略とリスク

ターゲット材は、ターゲット材本体とバックングプレート（以降、BPL）と言うCu製の裏板の2つの部品より構成されている。ターゲット材自体は消耗品であるが、BPLは何回も繰り返しリサイクルで使われる。ターゲット材本体とBPLは低融点の金属ハンダで接合されている（この作業をボンディング作業と言う）。顧客でターゲット材が消耗されたら、顧客は、ターゲット材メーカーに消耗材を戻し、ターゲット材メーカーは返却された消耗材をBPLが除去後、新しいターゲット材をそのBPLに再接合し、新品の製品として顧客へ再納入する。この流れが繰り返し行われる。図74にこの商売の流れを図にして見た。アジアの顧客から見ると、この繰り返し作業が非常に大変である。即ち、消耗材を毎度、毎度海を越えて日本に返却する必要がある。この物流コストと物流時間が無駄である。従って、アジアの顧客は日本のターゲット材メーカーに現地生産を熱望する。一方、ターゲット材メーカーから見ると、このアジアの顧客の要求に応じることにより、競合他社との差別化を図り、伸びるマーケットのシェアを拡大しようとたくらむ。海外拠点設立のコスト（リスク）とそれによる受注拡大（リターン）のバランスで、取るべき行動が決まって来る。

図75に一般的なターゲット材製造のフローを示す。

考え方としては、

- ① 全工程を、海外生産する。
- ② 機械加工以降を、海外生産する。
- ③ ボンディング加工以降のみ、海外生産する。
- ④ 全工程を、従来通り日本で製造する。

の4種類が考えられる。

また、海外拠点設立の場合は、その設立地域も重要である。

韓国、台湾、中国大陸のどれかを選ぶか、それとも複数選択するか。

更には、競合他社の状況を図76に示す。

まず、素材製造工程は、HIP設備、圧延設備他投資金額が莫大（約20億円）となり、かつ技術的蓄積が必要なこともあり、この工程は日本で製造しても競争力を維持できると判断し、素材製造工程は日本に残すことにした。また、競合他社を見渡すとボンディング工程のみの海外進出が多く、横並び戦略だと勝てる保証がないので、機械加工以降の海外進出を、差別化戦略として検討した。図77に検討結果を示す。投資対比のリターン可能性の大きさにより、実行することにした。

次に、地域だが、弊社のシェア、市場成長率、競合他社状況より判断し、台湾での設立に決定した。図78にその検討結果を示す。

以上より、海外新会社は

(A) 場所は台湾

(B) 業務としては、日本で製造した素材を機械加工、ボンディング加工を実施し、顧客に販売する形態。

で検討することにした。

4.3 ビジネスプラン

まず、台湾加工新会社の設立目的を明確にする。

第一に、前項で述べたように、

- ① 顧客満足度を向上することにより、拡大市場でのシェアアップを図る。

さらに、TF Tパネルの価格競争は、激しくターゲット材の値引き要求は非常に厳しい。日本でのコストダウンは、限界にきており、

- ② 日本の人件費の約1/3である台湾にて生産することによりコスト競争力をつける。

第3に、TF Tパネルの市場拡大によりターゲット材のマーケットも拡大しており、能力増強が必要で、

- ③ 台湾新会社を設立することにより、事業全体の製造能力増強を図る。

第4に、競合他社との品位差別化は、競争に勝つための絶対条件であり、

- ④ 素材製造は日本、機械加工以降は台湾で分業化することにより、各々に

⑤ 力の集中を図り、事業全体の品位競争力を強化する。

この4つが、設立の目的となる。

図79に販売計画を示す。

図80に設備購入計画を示す。

図81に大日程を示す。

なお、今回の工場建屋は、初期投資額と工事期間の圧縮とリスク回避も考慮し、リース物件にて対応する。

図82に全体のビジネスプランを記載した。

4.4 資金調達

資金調達に関しては、資本金は100%日立金属（株）が出資する、自己資本の形で進めた。ただし、資本金だけでは全て賄えないので、足りない資金は日立金属（株）より借入れた。この資金で持って、建屋改装、設備購入、設立費用を負担した上、残りの資金で人件費他、日々の運営を行った。

図83に資金計画を示す。設立後、6ヶ月以内での売上計上が資金運営上、必須であり、これが立上げ期間のデッドエンドになる。

4.5 工場計画

先に述べたように、今回の加工工場は、リース物件にて対応する方針で進めた。

台湾は、会社設立 倒産のサイクルが早いため、倒産工場物件が目白押しである。

筆者の目で、22件見た中で、台北市に近い五股工業区の熱交換器工場跡に決定した。選定した理由は、

- ① スペース、構造
- ② 熱交換器部品と大型液晶ターゲット材が大きさ、重量的に類似しており付帯設備が揃ってる
- ③ 台北市に近いので、人員の確保が容易

が大きな理由である。

ただし、ハイテク部品であるターゲット材と熱交換器では製造環境が大きく異なるので、内装は、全て新しくし、顧客が安心出来るレベルまでリニューアルすることにした。

図84に新規設備の一覧表を示す。

図85には工場レイアウト図を示す。

この工場投資と販売計画、人員計画より、利益計画を立案した。

図86に利益計算書を示す。

台湾進出により、販売額の増加と加工コストの低減が奏功し、ターゲット材事業の利益は再度、高収益事業へ変貌出来る見通しである。

最初の提案後から約一年で新会社を設立した（2001年7月）。

第5章 海外ベンチャーにおけるマネジメントの実践

筆者にとっては、海外での起業は全く初めてであり、色々な面で苦労し、現に失敗した事例も多々あります。

この貴重な経験（現在も進行中）を元に得た、知見をここでまとめます。

5.1 人材（カルチャーギャップへの対応）

日本人である筆者一人では、言葉の問題、異国の法律、文化、風習の中で新会社設立は困難を極める。従って、まず一人筆者の片腕になる、日本語が堪能な台湾人を雇った。手段としては、日系の人材派遣会社に紹介してもらい、筆者が面談して採用した。採用した台湾人（Aさん）と共に、会社登記他、会社設立のための法的活動を実行した。この会社登記と併行し、工場建設、設備仕様と納期、人材募集等を実行する必要があり、想像して以上の大変な業務だった。

一点だけ反省すべき点はAさんの採用時期である。今回は筆者が工場物件を決定し、登記手続も開始され、筆者が正式に台湾に赴任になった（2001.5月）時期に採用したが、本来ならば、工場物件の探索他を開始した、2000.10月頃に採用すべきであった。台湾の文化で、日本人には非常に困難な、交渉事があり、この活用を事前に活用した方が、あらゆる面で速く、安く契約がまとまっていた可能性が高い。

その後、製造の責任者とすべく技術者（Bさん）と会計の女性（Cさん）雇い、最低限の3名のスタッフで、色々な設立準備を実行した。

この結果、2001.7月に会社登記が完了し、2001.8月には工場のオープニングセレモニーを開催した。その翌日より生産を開始（試作的な）。現場の作業者の採用は、当初は、筆者も一人一人を面談し採用の可否を判断したが、人数が多くなってきた頃より台湾のスタッフに任せてしまった。この点も後に反省することになる。台湾人の文化でイージーゴーイング気質があり、安直に気の合う仲間ばかり採用する傾向がある。このケースは上手く回転する場合は強いが、一旦歯車が狂うと仲間同士で幾つかの派閥にわかれ、仕事に嫌気が差すと、一気に派閥単位で退職してしまうポテンシャルが出てくる。一般的に、台湾人の場合、会社の利害よりも個人の感情の利害を重視する（経営者は、台湾従業員に対し会社の対する忠誠心は期待しない方が無難である）。この場合、一気に従業員が減少するので、生産に支障を来し、大きな問題になる。この悪いケースに筆者も、後に直面してしまう。従って、人材採用は、確実に自分の目で確認し、採用すべきある。特に、今回のような海外新会社設立のような仕事は、最後に頼れるのは自分だけだと言う認識が強くなる。

人材採用後の最大のポイントは、カルチャーが異なっても、最後は従業員一人一人に対する思いやりの度合いで結果が決まると言うのが、紆余曲折ありながらも最終的に筆者が得た結論である。

5. 2 意思決定

前項の人材の項でも少し述べていますが、“最後に頼れるのは自分だけだ”と言うのが、海外新会社で意思決定して行く中で得た、筆者の最終結論です。

日本で仕事をしてる時は、疑問を持たなかったですが、台湾で一人で仕事を進めると、日本サイドがいかに、意思決定に大量の人と、大量の時間を費やしてるかが良く見える様になってきました。

具体的には、日本サイド（本社、工場）に問い合わせの電話をすると、大半が担当は会議をしています。大勢の人を集めて会議をすると言うことは、大勢の人に責任を分散してることの裏返しです。また、大勢の人と会議すると言うことは、あまり責任のない人が、傍観者的な評論意見を発するため、なかなかまとまらず、延々と意思決定に時間が掛かってしまう。しかも、ここで言う大勢の人達は、直接の生産に関与しない間接員（いわゆる、ホワイトカラー）で、世界的賃金レベルの尺度で見ると、飛び抜けてコスト高の人達である。

この日本の一般的な、責任が分散された大勢の人達による、一向に決まらない意思決定システムに莫大なコストが掛かっていることが、日本に居るとなかなか気付かない。

現在、中国の労働力の安さ（日本の1/3 0）が注目されてるが、筆者の考えでは、ブルーカラーの生産性は、例え日本の人件費が高くても、日本のブルーカラーの優秀さがあれば、この人件費の差は生産性でカバー出来ると思います。少なくとも台湾（日本の人件費の約1/3）と日本のブルーカラーを比較した時は、日本のブルーカラーは、物理的な面（実労働力）及び精神的な面（会社に対する忠誠心）で台湾ブルーカラーの3倍の生産性を実現可能です。言い換えれば、台湾の労働力は、現時点ではコストに見合った程度しか期待出来ないということです。

しかしながら、日本のホワイトカラーの生産性は、先に述べた意思決定システムに代表されるように、致命的にコストパフォーマンスが低い。この致命的欠陥が日本の製造業の競争力を著しく低下してる、本当の原因であることに、気がついていない（皆、ブルーカラーの人件費の差ばかり言及している）。

従って、日本の意思決定システムは即刻、変更すべきである。意思決定すべき人は、その意思決定を誤れば、痛みを伴う最小限の人達に絞るべきである。

なお、筆者自身の意思決定の尺度は、極めて単純な“損得勘定”のみである。次項で述べるが、その“損得勘定”はキャッシュフローで考える必要がある。特に、実行しなかった場合（現状維持の場合）、どの程度の得を逃すかと言う観点を非常に重視している。一般的に日本の意思決定の場合は筆者とは逆で、実行した時のリスクばかり言及し決断に時間を要す。実行しなかった場合のリスクはあまり議論しない。従って、時間を費やし結局は何もしないという結論になるケースが多い。

もう一つ、筆者が重要視してるのは、思惑外れに遭遇した場合の“奥の手”の有無であ

る。

上記をまとめると、筆者の意思決定システムは、

- ① 頼れるのは、自分自身のみ
- ② 尺度はキャッシュフローでの“損得勘定”
- ③ 実行しなかった場合のリスク（得が逃げていく）
- ④ “奥の手”の有無

この4点より、意思決定を迅速に実行して行く。

第6章 キャッシュフロー経営の実践

筆者は、日本での大企業の工場経営及び、台湾でのベンチャー経営を経験した。この二つには、キャッシュを伴う差異がある、この項ではこの点を述べます。

6.1 コーポレート（日本の大企業工場）における財務管理

大企業の場合、一部の人を除けばキャッシュ（いわゆる、現生）を意識するケースは、殆どない。何かを購入する際も、伝票発行をするが、現金がどのように動いてるかは想像もしない。増してや、莫大な売上金額がどのように現金化されてるかも分からない。

筆者も多分に漏れず、大企業の工場経営を実行した際も、現金の意識はなく、全て紙面上でのP/L（プロフィットロス）のみで考えていた。資本が豊富な大企業に置いては、この方法でも良いと思うが、どうしても本当の“損得勘定”の判断が鈍化してしまう。

例えば、設備を購入する際、本来ならば大量の現金が動く、ところが大企業の工場では、毎月の減価償却費増で分散されるために、あまり痛みを感じない。従って、新規設備の“垂直立上げ”、即ちその設備で即刻、お金を稼がないと支払いが出来ないという感覚にならないため、折角買った設備も遊休化してしまうケースが良く見られる。このケースとは逆に、商品個別に製品損益も、あるルールに準じたP/Lのみに議論されるために、価格設定を誤り、注文を逃してしまいますケースも多く見られる。減価償却費は、製品原価の中にあるルールで分散される。ただし、減価償却費とは、実際に発生する現金ではない。この減価償却費が負担できないために、注文を取らないという判断は誤りである。このような、現金の流れを意識しないP/Lのみの判断で意思決定を誤るケースは筆者を含め多々あったと思う。特に、上層部に行けば行くほど、実態を知らずに、紙面上の数字のみで判断するので意思決定を誤るケースが多い。

6.2 コーポレートベンチャー（台湾新会社）経営における財務管理

前項とは全く逆で、全てキャッシュでの経営になる。即ちB/S（バランスシート）での経営である。どのように現金を調達し、その調達したお金を使い、どのようにお金を増やすかの経営である。

前項とは逆で、設備を購入ある際は、その費用も重要であるが、費用の支払い方法も重要である。逆に言うと、設備費用を完全に支払うまでに、その設備で現金を発生し、そのお金で支払いを補填する感覚が、非常に大きくなる。即ち、設備の“垂直立上げ”である。

また、一旦買った設備なので、例え製品売上損益がその減価償却費のために便宜上P/Lで赤字でも、仕事をやって少しでもお金を入手した方が、得であるということも、現金の流れ（キャッシュフロー）を意識すると、すぐ理解が出来る。

売上金額に関しても、先程の支払い方法と裏返しになるが、いかに短期間で現金を回収するかは、極めて重要であることも理解出来る。

このような、キャッシュフロー経営を経験すると、日本の工場時代、毎月P/Lの数字のみ見て一喜一憂していた自分が無意味に感じてきた。要は、ある程度長期的なお金の流れを見て経営を考えないと、判断を誤る。

筆者の考え方としては、”身の丈にあった経営“が一番大事である。即ち、キャッシュフロー内での設備投資である。最近良く、自己資本での経営と良く言われているが、その感覚は、実際ベンチャー企業を経営してみると、実感出来る。

いくら、格好が良い技術でのベンチャーでも、最後は現金である。良くあるケースとして、財務管理は担当に任せてると言う経営者がいるが、キャッシュフローの感覚がない経営者は、ベンチャーは実践できないと言うのが筆者の結論である。

6. 3 事業創出から海外展開までの経営実践に対する考察

約15年間に渡り、筆者はターゲット材と言う製品に拘わってきた、その時期により、色々な場面で拘わってきたと思う。

ただ、一貫して、筆者のポリシーは“実行こそ全て”である。大企業にいと、色々な場面で提案する局面がある。立派な企画書を数々と書くが、大半の場合は立派な企画書を書いたことで満足してしまう。傍観者的な評論家スタンスの人達が多い日本の大企業の中で、実行することが一番ハードルが高い。

筆者の場合、研究所での開発者時代は、ただ単に研究しデータを取るだけでなく、開発品が売れるまで、営業マンと一緒に営業活動を実行した。営業活動の中で、本当のニーズを探り出し、それを開発品にフィードバックする形で商品化までこぎつけた。一昔前に“研究者はセールスマンであれ”と言う言葉があったが、これを実感、実行した時代であった。

次に、工場での事業化推進時代は、最終的には事業の黒字化への実行である。製品の精選等（時には、研究所時代に筆者自身が開発、製品化した商品を切り捨てるケースもあった）研究所での範疇では、考えにくいことも最終目的のために実行した。また、研究所センスで理解しにくいP/Lによる利益計算も目的達成のために実行した。この工場時代のP/Lによる利益管理の実行がなければ、筆者が最終的に実行した台湾での起業は、ありえなかったと思う。

最終段階で実行し、今現在も継続している台湾での新会社起業で、一番得たものは、前項でも述べていますが、意思決定システムとキャッシュフロー経営の実感である。

台湾に来て実感してるが、今現在の日本製造業の凋落は、意思決定とキャッシュフロー経営の原点を忘れたことが原因のように思える。例えば、我々と関連の深い液晶ディスプレイ業界に関して言うと、前述しているが、“液晶大国日本”から一気に空洞化してしまっている。これは、日本の液晶ディスプレイ製造業が、意思決定に時間を浪費してる間に、韓国、台湾勢が次々と大型の新しいラインを構築してしまい、手遅れになっただけである。

例え話しで言うと、日本は大人の考え方で、台湾が子供の考え方のような気がする。大人と子供は夫々長所、短所を持っており、一概にどちらが良いとは言えない。大人の長所

は、知識が豊富で理性的である、その反面色々なことを考えすぎて素直な行動が取れない。一方、子供は知識や経験がない反面、願望を素直に実行に移す。液晶ディスプレイ業界に関しては、今のところ子供に軍配が挙がっていると言える。他の業種についても同様の局面にあるケースが多いと思う。

ただ、大人と子供で、どちらが強いかというと、条件さえつければ、やはり大人に軍配が挙がる。すなわち、大人に少しの少年的勇気と実行力さえ整えば、子供には負けない。

筆者の場合も、台湾新会社の起業に際し、前項で色々と述べたが、直接のきっかけは図87の写真である。台湾液晶王手会社であるA社の大型新工場が、物凄い勢いで建設されてる現場をみて、そのスピードと規模の大きさに度肝を抜かされ、“これは日本に居たのじゃ勝てない”と言う本能的な直感が働いた。その時点で行動が決まっているので、その推進力は大きかった（もう誰にも止められない）。筆者の言う、少年的勇気による実行力である。

これが、筆者の考える“日本製造業復活”の鍵だと思う。そのバックボーンが単純な意思決定システムと、キャッシュフロー経営の実践である。大企業を形の上で、小さな会社に分散し（バーチャルなベンチャー企業に分散）、その経営者に全てを任せ、キャッシュフローでの“損得勘定”をベースとしたシンプルな意思決定を迅速に行うシステムである。

日本を離れ、最初は日本の悪いところばかり見えたが、時間が経ち台湾の実態が分かり始めると共に、日本のすばらしさが改めて見えてきた。日本人の知識、教養の高さ、日本人の創造力、日本人の忠誠心、思いやり、我慢強さ、日本の歴史、文化と決して捨てた物ではない。少なくともアジアのリーダーの資格が充分にある。

少しの勇気と自信で“日本製造業復活”の時期は近いと筆者は感じています。

第7章 今後の展開

最後に、ターゲット材事業の今後の展開に関して言及します。

7. 1 技術革新への対応（代替技術に対するリスク）

スパッタリング法の代替技術に関しては、半導体の一部でCVD化が進んでいるが、他の業界のプロセスを見る限り、その生産性の高さや要求される配線パターンから考えると、10年以上の期間で安泰と考える。

また、我々の事業の依存度の高い、ハードディスク、液晶ディスプレイ業界に関しても、代替技術の候補はある物の、5年程度は成長業界と見ている。仮に、有機EL等の代替技術により、業界自身が代替されたとしても、成膜工程自体は残るので、我々としては、常にアンテナを高く、技術動向を見ていれば、マイナーチェンジ程度で吸収可能と考えています。

従って、ターゲット材自体のニーズは、代替技術によりドラスティックに変化する可能性は極めて少ないと筆者は考えています。

7. 2 経営パラダイム変革への対応（中国進出に対するリスク）

中国進出は、世界的なブームになっているが、この最大の理由は人件費の安さと魅力あるマーケットである。

成功する例も多いが、失敗の例も多々ある。その大半は、日本と中国の文化の差が何らかの原因となっている。商売はしたものの、一向にお金の支払いがなく、現金が回収出来ずに倒産したケースも良く聞く。

我々の場合も、最終的に中国で製造するケースは、非常に高いが、いずれにせよ、台湾経由になる。

その理由は、

- ① 中国進出の顧客の大半が、台湾企業の可能性が高い。
- ② 中国の商売のノウハウは日本人よりも、同じ中国人である台湾の方が一日の長がある。

具体的には、我々の台湾新会社は、台湾の液晶ディスプレイ企業のニーズに対し設立し、それなりに成功している。液晶ディスプレイ業界の中国進出は、台湾企業のコストダウンの目的での進出が一番可能性が高い（既に、その動きがある）。

従って、我々の中国進出も、この動きに伴ない実行されるべきである。

また、中国での新会社設立は、現在の台湾新会社のスタッフにある程度任せの方が、スムーズに行くと思う。

以上より、筆者の心の底では、速く中国進出の時期が来ないかと、その時期を待っており、その勝算は充分にある。

最後に我々ターゲット材事業の事業計画を図88に示し、この論文を締めくくりたい。

第8章 参考文献

- 1) E.Yu.Tonkov: Phase Diagrams of Elements under High Pressure(1979), p.110[Nauka Publish.]
- 2) J.E.Hilliard : Trans.Metall.Soc.AIME,227(1963),p.429
- 3) T.G.Nilan : Trans.Metall.Soc.AIME,239(1967),p.898
- 4) L.Kaufman : Solids under Pressure,ed.by W.Paul and D.M.Warschauer(1963),p.304 [McGraw-Hill Book Co.Inc.]
- 5) 金子武次郎、三浦成人、大橋正義、阿部俊也 : 日本金属学会会報、9(1970),p.231
- 6) M.Hansen and K.Anderko : Constitution of Binary Alloys(1958),p.668[McGraw-Hill Book Co.Inc.]
- 7) O.Kubaschewski : Iron-Binary Phase Diagrams(1982),p.64[Springer-Verlag]
- 8) A.K.Sinha,R.A.Buckley and W.Hume-Rothery : J.Iron Steel Inst.,205(1967)p.191
- 9) G.Kirchner,H.Harving and B.Urhenius : Metall.Trans.,4(1973),p.1059
- 10) R.D.Rawling and C.W.A Newey : J.Iron Steel Inst.,206(1968),p.723
- 11) C.P.Heijwegen and G.D.Rieck : J.Less-Common Metals,37(1974),p.115
- 12) 内山郁、渡辺融、紀本静雄 : X線マイクロアナライザ(1974),p.127[日刊工業新聞社]
- 13) 副島啓義 : 電子マイクロアナリシス 走査型電子顕微鏡、X線マイクロアナライザ分析法(1987),p.338[日刊工業新聞社]
- 14) 野原清彦、平野賢一 : 鉄と鋼、63(1977),p.926
- 15) 西沢泰二、千葉昂 : 日本金属学会誌、34(1970),p.629
- 16) J.S.Kirkaldy : Can.J.Phys.,36(1958),p.918
- 17) J.R.Eifert,D.A.Chatfield,G.W.Powell and J.W.Spretnak : Trans.Metall.Soc.AIME,242(1968),p.66
- 18) G.W.Powell and R.Schumann : Trans.Metall.Soc.AIME,245(1969),p.961
- 19) J.S.Langer and R.F.Sekerka : Acta Metall.,23(1975),p.1225
- 20) 及川洪 : 鉄と鋼、68(1982),p.1489
- 21) H.D.Nuessler,T.Hoster and O.Kubascewski : Z.Metallkd.,71(1980),p.396
- 22) D.Pramanik,A.N.Saxena : Solid State Technol.,26(1),p.127(1983)
- 23) M.Mori : IEEE Trans.Electron Devices.ED-30,(1983),81
- 24) M.Mori,S.Kanamori and T.Ueki : IEEE Trans.Component,Hybrids,and Manufacturing Technology,CHMT-6,(1983),159
- 25) V.Hoffman : Solid State Technol.(1983)p.119
- 26) 前田和夫 : 電子材料3月号 p.22(1983)
- 27) 小泉光義他 : センサー技術 Vol.10 No.1 p.61(1990)

- 28) 黄燕清、岡明他：チタニウム、ジルコニウム Vol.22 No.4(1974)
- 29) チタニウム懇話会編：チタン、ジルコニウム、ハフニウム、金属とその化合物
アグネ社
- 30) Thaddeus B.Massalski : BINARY ALLOY PHASE DIAGRAMS Vol.2

第9章 筆者業績（特許、執筆物）

筆者の出願した特許をリスト1～3に列挙しました。

また、筆者の執筆物を下記に列挙しました。

- 1) 鉄と鋼 第74年(1988)第4号 p. 733
- 2) 高温学会誌 第18巻 第6号(1922) p. 356
- 3) Z.Metallkd.86(1995)7 p.453
- 4) 日立金属技報 Vol. 9 (1993) p. 25
- 5) クリーンテクノロジー 1994. 2(1994) p. 23