

序 文

金属の凝固機構の研究を始めようと決意したのは、北大西洋に浮かぶ無数の氷山をみた1964年の真夏のことでした。

1970年に東京軽合金製作所の小松二郎社長から、一通の手紙が私の恩師宮田進先生のところにまいりました。その手紙には、雑誌「金属材料」に掲載された“アルミニウムの凝固理論の進歩”と題する、ダイハツ工業の铸造研究課長佐々木五真男さんの書かれた寄書のコピーが同封されておりました。

その寄書には、私の研究がかなりくわしく、名文で紹介されており、『通説を否定し、铸造技術者の蒙を開いた』という言葉につづいて『铸物品質健全化の基礎理論の進歩として、铸造技術者たるものの大いに注目すべき研究成果と思われる』と書いてありました。

その小松社長の手紙は、『大野の話が聞けるようにしてほしい』との依頼状でした。宮田先生は、『君の話は、今まで断片的に聞いてきたが、一度まとまったものを聞きたいから』とおっしゃって、埼玉県行田市にある株式会社東京軽合金製作所まで同行されました。

講演で、『少年の澄んだひとみで、凝固現象を見つめようとつとめました。』といった私の言葉が、先生には大変気に入ったようで、『今日の話は、講演だけでは、あまりにもったいないから、是非本にしてください』とすすめてくれました。それが、1973年に出した初版の「金属凝固学」です。

私は1975年、ドイツの Aachen 工業大学へ講演にまいりました。新日鉄から留学生としてきておられた平岡照祥さんのお宅に招かれました。平岡さんは私の著書「金属凝固学」をわざわざドイツまで持参しておられ、『何か書いてくれ』とその本を私の前にさし出されました。私はつねづね座右の銘としている言葉『与えられた環境を甘受せよ』と書きました。

そのとき平岡さんがすすめてくださったのが、今回の「金属の凝固」となっ

たのです。『発想からの先生の研究の歴史を是非書いてください、若い人のためになると思うから』。私はそのときの平岡さんの熱っばい語りかけと、そのときに聞いた乾杯のグラスの素晴らしく清く澄んだ音の響きを、今でも忘れることができません。

私は、それから、国内外の多くの大学や企業で金属凝固に関する講演を重ねてまいりました。アメリカ、ヨーロッパはもちろん、中国でも南アメリカでもオーストラリアでも。そして、つねに平岡さんがすすめてくれた新しい本の出版を念頭において、講演のたびに原稿に手を加えてまいりました。

1980年に、その原稿の一部を“铸造組織コントロールの原理”と題する連載講義にして、「铸鍛造と熱処理」という雑誌にのせ、その中で、私がどうして金属凝固の研究を始めたかという研究の動機から、結晶遊離説の提唱、そして結晶遊離説にもとづく铸造組織コントロールの原理について述べました。

そしてこの連載講義が私の想像をはるかに超えて多くの人びとに読まれていたことを知って驚きました。あちこちの大学や企業で、コピーが作られ、学生や技術者に配布されたようです。

私は、この連載講義に、さらに結晶遊離説の応用を加えて本にしようと、その後も講演のたびに、原稿を書きなおしてまいりました。どうすれば結晶遊離説をよりよく理解していただけるか、どのように話せば、実際の铸造に有効に活用してもらえるかを考え、講演のあとに出てくる質問を貴重な材料として、それに答えるように、本の内容の充実をはかりました。

最近私は、結晶遊離説を応用して、铸塊を内部から先に凝固させ、中心偏析や巣のような欠陥がなく、しかも等軸晶のまったくない、一方向凝固組織のみからなる铸塊の連続铸造法を開発いたしました。等軸晶のまったくない、表面が鏡のようにきれいな長い铸塊の出現で、ようやく結晶遊離説が理解していただけの時期が到来したのを感じます。

原稿を書き始めてすでに5年の歳月が流れました。読み返して手を入れればきりがありません。私は原稿の最終チェックのために、私の研究に大きな影響を与えてくれたカナダのTorontoを訪れ、1週間の滞在で、ようやく脱稿に漕ぎつけました。

私は、いま脱稿に当って、私を育ててくださった多くの方々、私の研究を助けてくれた協同研究者や学生はもちろんのこと、私の研究に反論してくださった方々に深甚の感謝を捧げたいと思います。私にとって凝固の研究は将棋ゲームのようなもので、強い相手があったからこそ、私は研究を楽しむことができたのです。

1983年6月5日

於トロント

大野篤美

目 次

はじめに	7
1 鋳造マクロ組織の形成	9
1.1 鋳造金属のマクロ組織	9
1.2 結晶遊離説	12
i) 等軸晶帯生成の主因	12
ii) 研究の動機	14
iii) 鋳壁に沿う結晶の沈殿	17
iv) 凝固現象の直接観察	20
v) 等軸晶帯の形成	25
vi) 結晶遊離説とフリーチル晶説	27
vii) 湯面冷却によるシャワリング結晶の起源	33
viii) 結晶遊離説の確認	39
1.3 等軸晶生成の起源	40
1.4 等軸晶の生成遊離	45
i) 鋳壁面での結晶の成長	45
ii) 根元のくびれた結晶の生成	48
iii) 結晶の遊離と増殖	50
2 鋳造金属のマクロ組織のコントロール	54
2.1 等軸晶組織	54
i) 結晶微細化剤	55

微細化剤の作用	55
微細化剤の選択	60
ii) 鑄型の冷却能	64
iii) 鑄型の性状	69
iv) 振 動	75
振動の役割	75
湯面振動	76
振動の効果的な場所	82
振動の効果的な時期	82
v) 攪 拌	83
鑄型回転	85
電磁攪拌	88
ハンマリング	93
vi) 注湯温度	95
2.2 柱状晶組織	96
一方向凝固法	97
3 結晶遊離説の応用	101
3.1 共晶系合金のマクロ組織の形成	102
i) 初晶の分布と等軸共晶粒	102
ii) 共晶先行相	111
iii) 等軸共晶粒の微細化	112
iv) 共晶粒の鑄壁からの遊離	113
3.2 鑄鉄の凝固と逆チル組織の生成	114
3.3 球状黒鉛鑄鉄と結晶遊離説	121
3.4 結晶遊離説とマクロ偏析	125

i) 正偏析	125
ii) 逆偏析	127
iii) ストリング状偏析	129
iv) バンド状偏析	130
v) 重力偏析	131
3.5 結晶遊離説とO. C. C. プロセス	132
おわりに	139
さくいん	143

目 次

はじめに	7
1 鋳造マクロ組織の形成	9
1.1 鋳造金属のマクロ組織	9
1.2 結晶遊離説	12
i) 等軸晶帯生成の主因	12
ii) 研究の動機	14
iii) 鋳壁に沿う結晶の沈殿	17
iv) 凝固現象の直接観察	20
v) 等軸晶帯の形成	25
vi) 結晶遊離説とフリーチル晶説	27
vii) 湯面冷却によるシャワリング結晶の起源	33
viii) 結晶遊離説の確認	39
1.3 等軸晶生成の起源	40
1.4 等軸晶の生成遊離	45
i) 鋳壁面での結晶の成長	45
ii) 根元のくびれた結晶の生成	48
iii) 結晶の遊離と増殖	50
2 鋳造金属のマクロ組織のコントロール	54
2.1 等軸晶組織	54
i) 結晶微細化剤	55

微細化剤の作用	55
微細化剤の選択	60
ii) 鋳型の冷却能	64
iii) 鋳型の性状	69
iv) 振 動	75
振動の役割	75
湯面振動	76
振動の効果的な場所	82
振動の効果的な時期	82
v) 攪 拌	83
鋳型回転	85
電磁攪拌	88
ハンマリング	93
vi) 注湯温度	95
2.2 柱状晶組織	96
一方向凝固法	97
3 結晶遊離説の応用	101
3.1 共晶系合金のマクロ組織の形成	102
i) 初晶の分布と等軸共晶粒	102
ii) 共晶先行相	111
iii) 等軸共晶粒の微細化	112
iv) 共晶粒の鋳壁からの遊離	113
3.2 鋳鉄の凝固と逆チル組織の生成	114
3.3 球状黒鉛鋳鉄と結晶遊離説	121
3.4 結晶遊離説とマクロ偏析	125

i) 正偏析	125
ii) 逆偏析	127
iii) ストリング状偏析	129
iv) バンド状偏析	130
v) 重力偏析	131
3.5 結晶遊離説とO. C. C. プロセス	132
おわりに	139
さくいん	143

金属の凝固

結晶の生れてゆく姿を
みつけるまでとその後
の
記録

はじめに

私はここ20年ばかり、溶融した金属が鋳型の中でどのようにして凝固するか、鋳造金属の凝固組織をコントロールするにはどうすればよいか、という問題に対し、金属の凝固現象を直接観察するという手法を取り入れて研究を続けてきました。

溶融した金属が鋳型の中でどのようにして凝固するかという問題は、内部が不透明でみえないだけに、大変興味のある問題です。そして、単に興味深い問題であるというだけでなく、凝固の機構を知ることは、時代の要求に合う金属材料をつくる上できわめて重要です。

私達が日常接している金属製品は、一部の例外を除いて、ほとんどが、まず最初に溶解凝固の過程を経て、鋳物とか鋳塊になり、これにいろいろの加工や熱処理、表面処理を加えてつくられています。

最初の凝固の過程で形成された組織とか鋳造欠陥が、後のちの製品にまで履歴として残るということはよく知られていますが、なにぶん金属は不透明なものですから、この金属製品が経なければならぬ凝固という大切な成形の第一段階も、十分解明されないままに、『凝固は難しい』として残されてきました。しかし、最近、金属材料に対する品質向上の要求がますますつれて、『まず凝固機構を解明しなければならない』といわれるようになりました。

これから述べます『金属の凝固』の話では、私が金属の凝固に関する研究を始めた動機から、私の研究の過程を歴史的にたどって、『結晶遊離説』の提唱、その応用へと話を進め、最後に私が最近開発した、一方向にのみ結晶が長くのびた組織からなる、内部欠陥のない金属材料の連続鋳造法“O. C. C. プロセス”の説明をしたいと思います。

私は1973年に、私の研究をもとにした「金属凝固学」を出版し、1976年には

その英語版を出版しました。この本は1980年にソ連において注目され、モスクワの冶金出版社からロシア語版として出版されました。また、先般中国に招かれたおり、この本が中国語版として印刷され、各大学で教材に使われているのを知りました。

私の著書「金属凝固学」は、なにぶん教科書形式にまとめたものであるため少々かたく、かつ簡明を旨としたものですが、今回の話は、こうした形式にとられず、まったく自由に凝固機構や铸造組織のコントロールに関する実験や結果、考察、討論を十分に加え、かなりくわしく述べてみたいと思います。

1 鑄造マクロ組織の形成

1.1 鑄造金属のマクロ組織

この話を始める前に、まず、この鑄塊をごらん願いましょう。

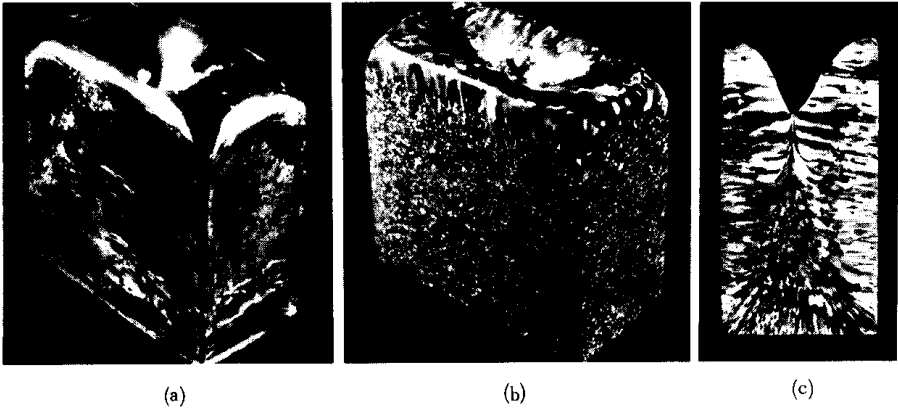


図1.1 Al 鑄塊の表面および縦断面のマクロ組織

99.8% Al の鑄塊です (図1.1(a)). これは図 1.2 のような箱形をした金型に、Al の溶湯を注いで凝固させたままのものです。頭部の凹みは、凝固するときの収縮によってできた収縮管です。

この鑄塊の表面は Al の酸化膜で覆われていますから、このように一様に銀白色にみえています。これを塩化第二銅水溶液の中に浸漬し、さらに硝酸で洗ってみますと、図 1.1(b)のように、きれいな表面模様、すなわちたくさんの結晶がみえてきます。

こんどは、この鑄塊を真中から垂直に切断して、その縦断面のマクロ組織をみてみましょう。図 1.1(c)は鑄塊の垂直縦断面の組織です。外周部に、表面から中のほうに向かって伸びた柱状晶が並んでいます。この領域を柱状晶帯といいます。



図 1.2
鑄塊の鑄造

この柱状晶帯に囲まれてみえる，粒状の結晶によって形成された中央の組織を，等軸晶帯とよんでいます。

柱状晶帯は異方性を有していますが，等軸晶帯は等方性を有していますから，等軸晶からなる組織の鑄塊のほうが，鑄塊の表面から中に向かって柱状晶が伸びているような組織の鑄塊に比べて，圧延とか鍛造などの塑性加工が行いやすいといわれています。

ここでひとつの例をごらんに入れましょう。図 1.3 のカップは等軸晶のみ，または柱状晶のみからなる，同一成分の Al 鑄塊から作った板を，円形に切り

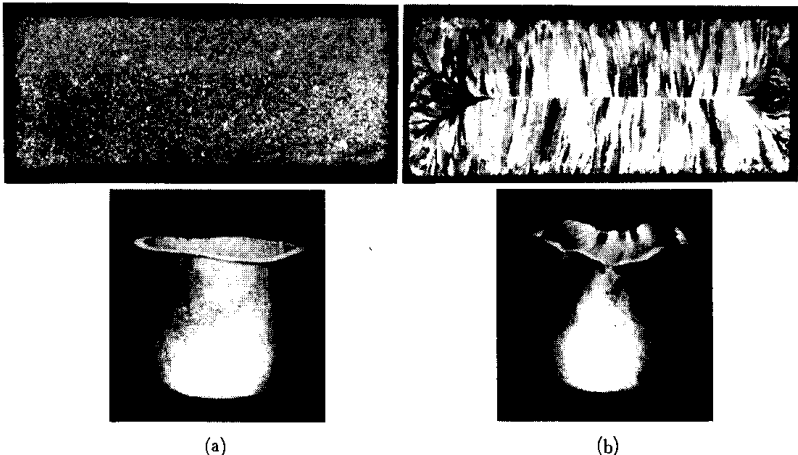


図 1.3 鑄塊のマクロ組織とその鑄塊から得られた板の加工性

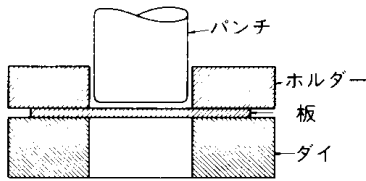


図 1.4 板の深絞り装置

だし、その円板を図 1.4 のようにして、深絞り加工したものです。

これで、柱状晶が鑄塊表面にはほぼ垂直に成長している組織の鑄塊よりも、等軸晶のみの鑄塊のほうが、塑性加工には適していることがおわかりになると思います。

鑄造組織は、つねに等軸晶からなるほうがよいかというと、必ずしもそうではありません。磁性材料とか、高温用のガスタービンブレードでは、等軸晶の存在する鑄物は嫌われ、柱状晶のみが一方方向に長く伸びているものがよるべれます。

鑄塊を構成する結晶には、いま述べたように、柱状晶と等軸晶の2種類があり、これらの結晶の分布の仕方によって、鑄塊の組織は図 1.5 のように大別することができます。

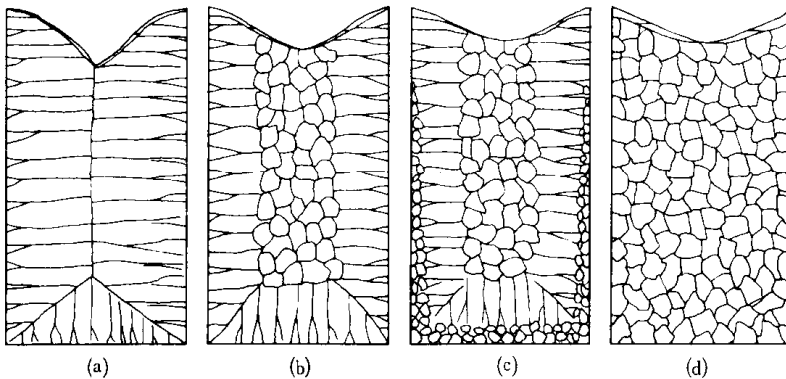


図 1.5 鑄塊のマクロ組織のスケッチ図

図 1.5 の(a)は全体が柱状晶でできているもの、(b)は柱状晶帯に囲まれて等軸晶帯が存在するものですが、鑄塊には、しばしば(c)のように柱状晶帯の外側にも等軸晶帯が存在することがあり、これを等軸チル晶帯とよんでいます。そして(d)のように全体が等軸晶だけからなるものがあります。

鑄造組織を大別すると、だいたい上のようになります。そして一般に不純物