

## 講座

## 最新鑄鉄溶湯性状計測技術



森中真行\*

## Latest Technique of Measuring Molten Cast Iron Properties

Mayuki Morinaka

キーワード: 溶湯性状, チル深さ, 黒鉛形状, ひけ, 熱分析, 溶存酸素量

## 1. はじめに

無チルの鑄物やチル深さを管理する必要のある鑄物を製造する場合, 溶湯のチル深さを計測して適正な接種を施す必要がある。従来, 溶湯のチル深さを計測するために, チル試験片の破断面を観察する方法が多く利用されてきた。しかし, この方法には1) 鑄込み条件によりチル深さが変化する, 2) 肉眼観察であることから定量化が困難である, 3) 測定作業の自動化が困難であるなどの欠点がある。そこで, これらの欠点の克服を目的として, 熱分析法を利用するチル深さの計測技術が開発された。

また, 球状黒鉛鑄鉄における機械的性質は基底に支配されるものの, 黒鉛が球状であることが前提である。CV 黒鉛鑄鉄の機械的性質と熱伝導率の良好なバランスは黒鉛形状による。そこで, 要求される黒鉛形状の鑄物を製造するためには, 炉前での黒鉛形状の計測が必要となる。従来, 炉前での黒鉛形状の計測技術として, 熱分析法だけを利用する方法<sup>1)</sup>と溶存酸素量だけを測定する方法があった。しかし, 熱分析法だけを利用する方法は球状黒鉛又はCV 状黒鉛と片状黒鉛の判別が困難であり, 溶存酸素量だけを測定する方法は球状黒鉛とCV 状黒鉛の判別が困難であった。そこで, 熱分析法と溶存酸素量測定法を組み合わせることにより, 球状黒鉛, CV 状黒鉛, 片状黒鉛を炉前で計測する技術が開発された。

## 2. チル深さの計測技術

## 2.1 原理

Fe-C系平衡状態図から知られるように, 1426 Kの安定系共晶温度(以下,  $T_{EG}$ と略す)の組織はオーステナイト-黒鉛共晶であり, 1420 Kの準安定系共晶温度(以下,  $T_{EC}$ と略す)の組織はオーステナイト-セメント共晶である。しかし, 鑄鉄の $T_{EG}$ と $T_{EC}$ は合金元素量により変化する。理由は,  $T_{EG}$ は共晶黒鉛と溶鉄間の, また,  $T_{EC}$ は共晶セメントと溶鉄間の合金元素の分配挙動の結果<sup>2)</sup>により変化するためである。そこで, 最新の計測法では $T_{EG}$ と $T_{EC}$ を実測し, 別に求めた溶湯本来の共晶温度(以下,  $T_{SC}$ と略す)を比較することにより, チル深さの測

定を行うことができる。

## 2.2 計測方法

チル深さの計測はFig. 1に示す複合熱分析プローブを溶湯に浸せきすることにより行われ, 結果はFig. 2に示すように熱分析装置に表示される。複合熱分析プローブの第1の容器では接種剤を具備することにより $T_{EG}$ を測定し, 第2の容器では添加物を入れずに $T_{SC}$ を測定し, 第3の容器ではTeを具備することにより $T_{EC}$ を測定する。Fig. 3に示すように $T_{SC}$ と $T_{EC}$ の温度差を $\Delta T_1$ ,  $T_{EG}$ と $T_{EC}$ の温度差を $\Delta T_E$ とすると, ASTM規格3Cチル試験片のチル深さ( $d$  mm)は次式<sup>3,4)</sup>であらわされる。

$$d = -27 (\Delta T_1 / \Delta T_E) + 26$$

## 2.3 活用事例

安藤ら<sup>5)</sup>は本技術の利用により, チルド鑄物におけるチ

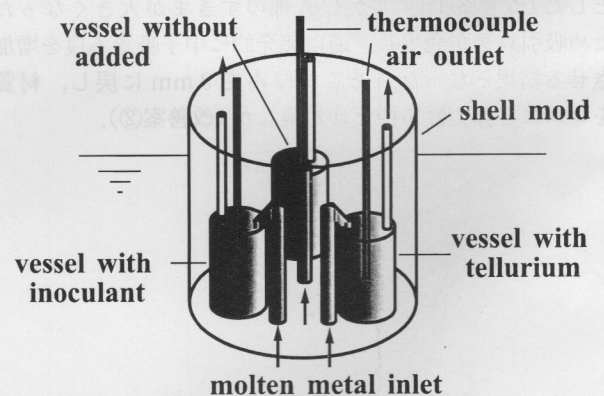


Fig. 1 Schematic illustration of immersion-type thermal analysis multi-probe.

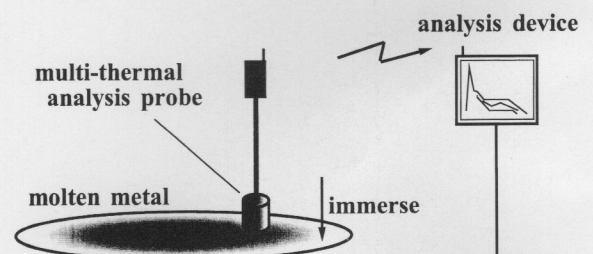


Fig. 2 Schematic illustration of thermal analysis system.

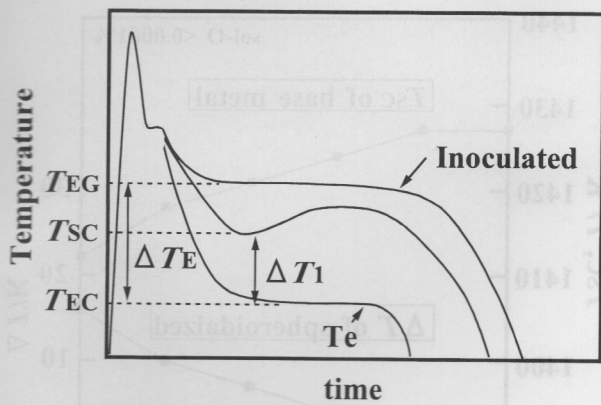


Fig. 3 Schematic diagram of cooling curves.

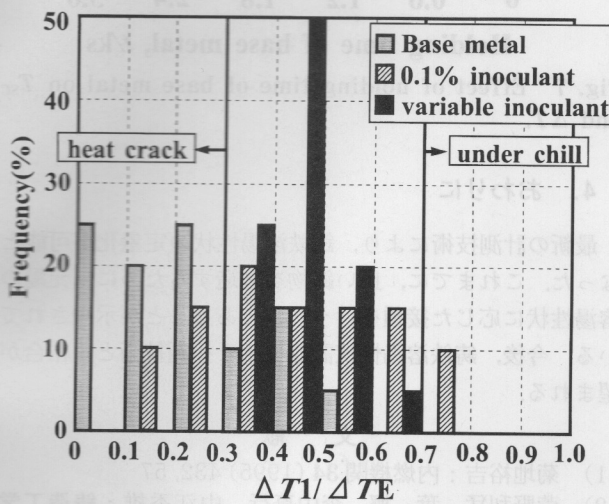


Fig. 4 Comparison of inoculating techniques on  $\Delta T_1/\Delta T_E$ .

ル深さの管理に成功している。従来、このチルド鑄物の不良率は7.6%で、主たる不良原因は熱間割れとチル不足であった。製造方法は溶解後の元湯に0.1 mass%の接種を一律に行うものであった。

彼らは Fig. 4 に示すように0.1 mass% 接種後の  $\Delta T_1/\Delta T_E$  が0.15~0.75の広範囲に分布していることを明らかにし、その理由を元湯の  $\Delta T_1/\Delta T_E$  が0~0.53の広範囲に分布していたためと考えた。例えば、元湯の  $\Delta T_1/\Delta T_E$  が0.4以上と高い場合、さらに0.1 mass%の接種を行うことから製品の  $\Delta T_1/\Delta T_E$  は0.7以上となりチル不足となる。逆に、元湯の  $\Delta T_1/\Delta T_E$  が0.07以下と低い場合、0.1 mass%では接種量が不足であることから製品の  $\Delta T_1/\Delta T_E$  は0.3以下のために熱間割れが発生すると考えた。

そこで彼らは、元湯の  $\Delta T_1/\Delta T_E$  が1) 0.08~0.40であれば接種量を従来通り0.1 mass%、2) 元湯の  $\Delta T_1/\Delta T_E$  が0.07以下であれば接種量を0.2 mass%に増加、3) 逆に元湯の  $\Delta T_1/\Delta T_E$  が0.41以上であれば接種を施さないことを試みた。その結果、 $\Delta T_1/\Delta T_E$  が0.3~0.6の狭い範囲内で得られることから、チル不足による不良と熱間割れによる不良は発生しなくなり、不良率は1.2%に低減した。

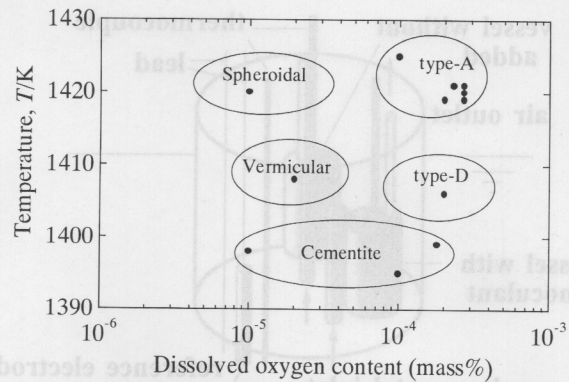


Fig. 5 Phase diagram by dissolved oxygen content and eutectic temperature.

### 3. 球状黒鉛鑄鉄溶湯の黒鉛形状の計測技術

#### 3.1 原理

この計測技術では、核生成数を間接的に得るために黒鉛共晶温度からの過冷度 ( $\Delta T$ ) を測定する。また、核成長を律する界面エネルギーを間接的に得る一手段として、炉前で測定可能な溶存酸素量を測定する。黒鉛形状は、測定された  $\Delta T$  と溶存酸素量により推定することができる。

Fig. 5<sup>6)</sup> は合金元素量が一定の場合、溶存酸素量と  $T_{SC}$  による黒鉛形状の測定結果例である。溶存酸素量が少ない領域における黒鉛形状は、 $T_{SC}$  が高い場合には球状であるが低い場合にはCV状となる。また、溶存酸素量が多い領域の黒鉛形状は、 $T_{SC}$  が高い場合にはA型の片状であるが低い場合にはD型の片状となる。さらに、溶存酸素量にかかわらず、 $T_{SC}$  がセメンタイト共晶温度に近い場合の組織はセメンタイトとなる。

ここでは、球状黒鉛からCV状黒鉛へ、あるいはA型黒鉛からD型黒鉛へ変化する共晶温度を  $T_{E\gamma}$  と呼ぶこととする。また、球状黒鉛からA型黒鉛へ、あるいはCV状黒鉛からD型黒鉛へ変化する溶存酸素量を片状化溶存酸素量 ( $O_F$ ) と呼ぶこととする。 $O_F$  は溶存S量が少ない場合には高濃度側に、逆に溶存S量が多い場合には低濃度側に移動すると考えられる。しかしながら、元湯のS量及び球状化剤の添加量を一定とするならば、 $O_F$  は一定として扱うことができる。

#### 3.2 計測方法

黒鉛形状計測は Fig. 6 に示す溶存酸素量と熱分析容器の複合プローブを溶湯に浸せきすることにより行われ、結果は分析装置に表示される。複合プローブの第1の容器では接種剤を具備することにより  $T_{EG}$  を測定し、第2の容器では添加物を入れずに  $T_{SC}$  を測定し、両者の温度差 ( $\Delta T$ ) を算出する。また、溶存酸素量も同時に測定される。

黒鉛形状はTiやCuなどを含有せず、S含有量が約0.02 mass%の場合を例にとると、溶存酸素量が0.0001 mass%以下の場合、 $\Delta T$  が10 K未満であれば球状、10 K以上であればCV状であり、溶存酸素量が0.0001 mass%以上の場合、 $\Delta T$  が10 K未満であればA型、10 K以上

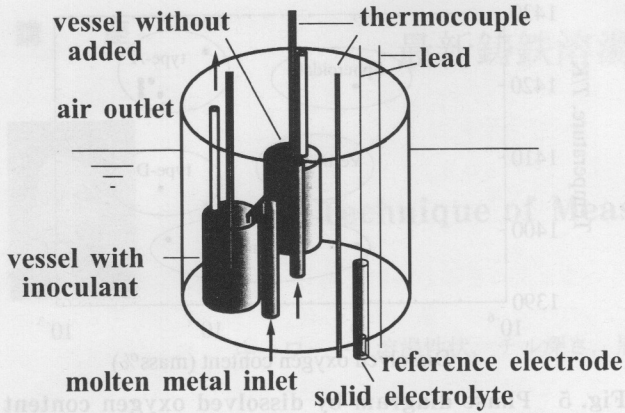


Fig. 6 Schematic illustration of immersion-type multi-probe.

であればD型である。

3.3 活用事例

ある球状黒鉛鑄鉄の製造工場では、元湯を保持しながら0.6 ksごとに取鍋に出湯を行い、一定条件の球状化処理を行っている。この元湯と球状化処理後の溶湯について、溶存酸素量及び $\Delta T$ の測定を行った。

その結果、以下のことが判明した。1) 元湯の溶存酸素量は常に約0.0002 mass%以上、球状化処理後の溶存酸素量は常に0.0001 mass%以下であり、元湯の保持時間との関係は認められなかった。2) 元湯の $T_{sc}$ はFig. 7に示すように1427 Kから保持時間の経過により低下し、3.0 ks後には1412 Kとなった。3) 球状化処理後の $\Delta T$ は球状化開始時の1 Kから元湯保持時間の経過により増加し、3.0 ks後には16 Kとなった。4) 以上より、球状化処理後の $\Delta T$ の変化は元湯の $T_{sc}$ が変化したためであることがわかった。

そこで、この鑄造工場では元湯に接種を行うことにより $T_{sc}$ が一定となるようにした。これにより、この鑄造工場では黒鉛形状の管理が可能となった。

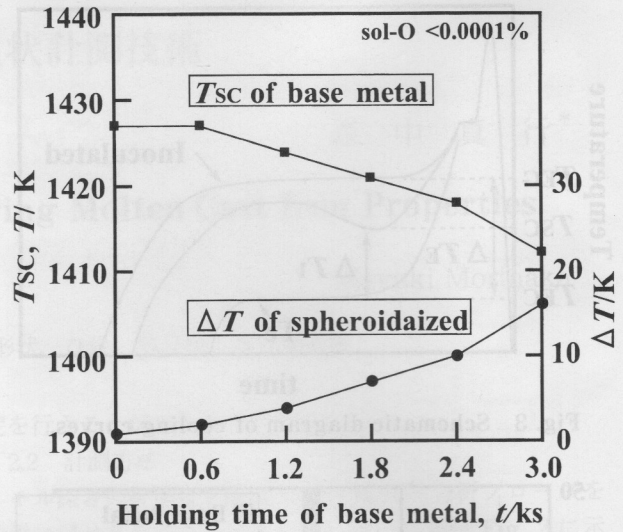


Fig. 7 Effect of holding time of base metal on  $T_{sc}$  and  $\Delta T$ .

4. おわりに

最新の計測技術により、鑄鉄溶湯性状の定量化が可能となった。これまでに、良い鑄物を製造するためには元湯の溶湯性状に応じた接種を行うべきであることが示唆されている。今後、鑄鉄溶湯性状計測技術と接種技術との結合が望まれる。

文 献

- 1) 菊地裕吉：内燃機関 34 (1995) 432, 57
- 2) 菅野利猛, 葉 椰, 森中真行, 中江秀雄：鑄造工学 70 (1998) 465
- 3) 菅野利猛, 葉 椰, 姜 一求, 森中真行, 中江秀雄：鑄造工学 70 (1998) 773
- 4) 日本国特許第 2750832 号
- 5) 安藤寿明, 伊藤 保, 村上登一, 岡本真佐男, 織部真至：鑄造工学 70 (1998) 508
- 6) 森中真行, 奥園 強, 菅野利猛：鑄造工学 71 (1999) 609