

研究テーマ名 : マルチスケール電磁アプローチによる省エネ型自動車用高機能鋳鉄の組織評価手法の開発

研究代表者 東北大学流体科学研究所 内一 哲哉 (E-mail: uchimoto@ifs.tohoku.ac.jp)

研究分担者 北海道大学工学研究科 堀川 紀孝

研究分担者 岩手県工業技術センター材料技術部 池 浩之

## 1. はじめに

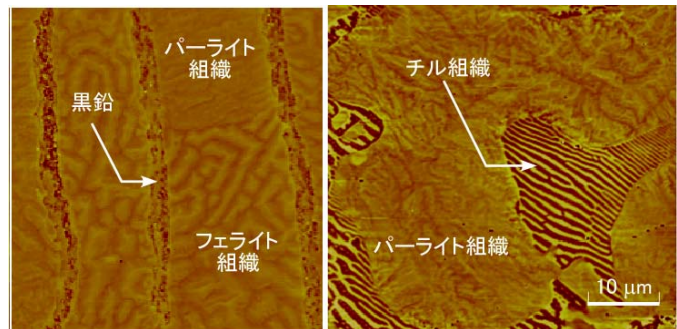
自動車部品として使用される鋳鉄部品の薄肉化は自動車の燃費向上に寄与するが、機械的特性を著しく低下させるチル化を招く。このチル組織を低減させる無チル化技術は開発されているものの完全とはいえず、その実用化のためにはチル組織の非破壊評価法の確立が必須である。本研究では、チル組織の含有率を定量的に評価する電磁非破壊手法を確立することを目的とする。鋳鉄の組織は複雑であり、その電磁および機械特性は複雑な振舞いを示す。このために鋳鉄材料の電磁・機械特性を微視的評価及び巨視的評価の双方から議論するマルチスケール電磁アプローチに基づき、電磁特性のモデル化を行う。最終的には、チル組織含有率を渦電流法/交流磁化法により評価する手法を確立させる。

## 2. 片状黒鉛鋳鉄に関する検討

本研究項目においては、チル含有量を変化させた片状黒鉛鋳鉄中のチル、フェライト、パーライト組織、黒鉛の含有量を定量化し、磁気特性と各組織の含有量および硬さとの関係性について議論を行った。次に、磁気特性とチル含有量との関係を検討して得られた知見に基づき、電磁非破壊検査手法の一種である交流磁化法に基づく計測を行い、チル含有量を評価した。

### 2. 1 ミクロ特性評価

FC150 相当鋳放し供試材、チル面積率が 31% の供試材について、磁区構造を磁気力顕微鏡(MFM)を用いて観察した結果を図 1 に示す。フェライト組織、パーライト組織、チル組織はそれぞれ異なる磁区構造をしている。これは、鋳鉄の各組織がそれぞれ微視的に異なった磁気特性を持つことを示唆している。この微視的な磁気特性の違いが巨視的な磁気特性の違いに反映されると考えられる。B-H アナライザにより様々な周波数における磁化曲線を測定した。適切な周波数を選定することにより、磁化曲線の形状およびループ面積とチル面積率或いは硬さと高い相関性を示すことを見いだした。



(a) FC150 相当材 (b) チルを含む試験片

図 1 片状黒鉛鋳鉄の磁区構造

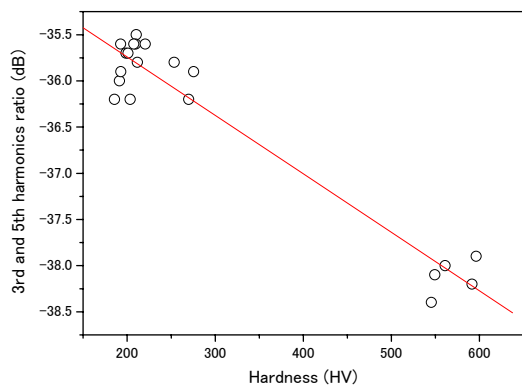
### 2. 2 電磁非破壊評価の適用

上記の磁気特性評価により得られた知見を基に、電磁非破壊評価法である交流磁化法によってチルの非破壊評価の可能性を検討した。励磁・検出同軸コイル(上置プローブ)を試験体表面に配置し、交流電流を流す。コイルにより発生する磁場が試験体を磁化し、そのときの磁化過程は相互誘導作用により検出コイルの電圧として検出される。本研究ではコイルの芯にフェライトを用いてより強い磁場範囲で測定した。

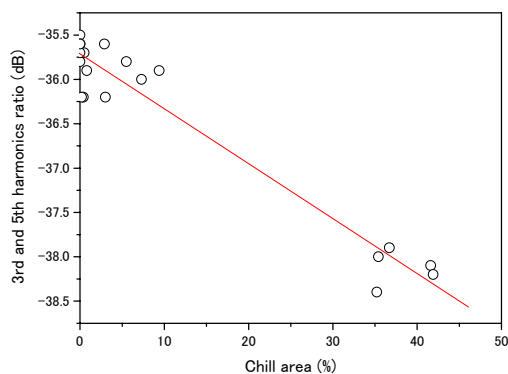
交流磁化法においては、出力された検出電圧と励磁電圧によるリサージュ波形(ヒステリシス相当曲線)や第 3 高調波及び第 5 高調波と基本波の比(第 3・5 高調波比)を測定することで比較的容易にヒステリシスの変化を調べることができる。図 2 に第 3・5 高調波と硬さおよびチル面積率との関係を示す。用いた試験片は、Cr を 0.1% 添加した片状黒鉛鋳鉄階段試験片である。チル面積率及び硬さと第 3・5 高調波との相関は高く、チル率の推定が可能であるといえる。

### 3. 球状黒鉛鋳鉄に関する検討

チル含有量を変化させた球状黒鉛鋳鉄中のチル、フェライト、パーライト組織、黒鉛の含有量を定量化し、磁気特性と各組織の含有量および硬さとの関係性について議論を行った。次に、第 2 節において説明した交流磁化法に基づく計測を行い、チル含有量を推定した。ここでは、黒鉛化阻害元素である Cr や Mn を微量添加し、チル化を促進させた球状黒鉛鋳鉄階段試験片について得られた結果を示す。第 3・5 高調波比と硬さとの関係を図 3(1)に示す。非常に大きなばらつきが見られるが、データ解析の結果、フェライト組織量の



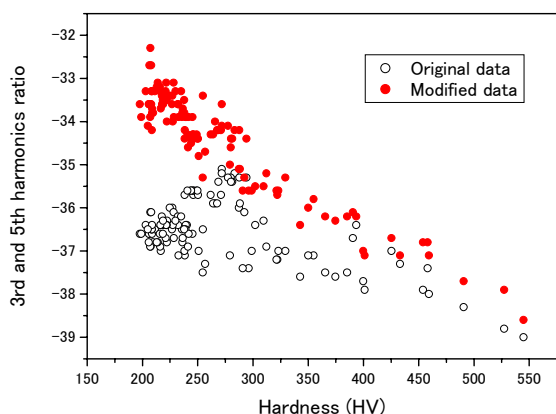
(1) 硬さとの関係



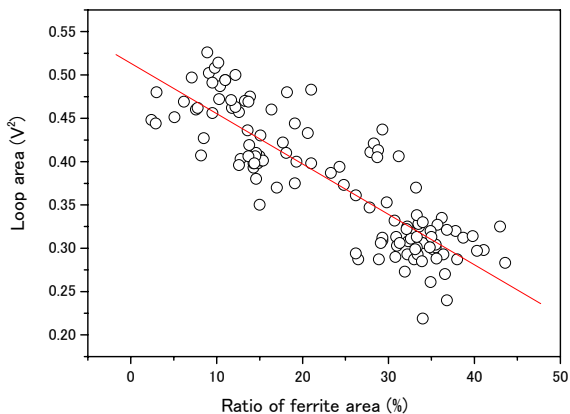
(2) チル面積率との関係

図2 第3・5高調波と硬さおよびチル面積率との関係

ばらつきが影響していることが判った。第3・第5高調波比  $h$  (dB) を、フェライト面積率  $f$  (%) を用いて、 $h' = h + 0.089 f$  と補正することにより、図3(1)に示されるように高い相関性が得られた。一方、図3(2)に示されるようにフェライト面積率はループ面積と相関性を有する。このことから、第3・第5高調波比およびループ面積を用いることにより、硬さ及びチル率の推定を行うことができる。球状黒鉛鋳鉄試験片を用いた交流磁化法による測定結果から、チル面積率を推定した結果を図4に示す。第3・第5高調波比およびループ面積を用いた信号処理により、誤差10%以内での評価が可能である。



(1) 高調波比と硬さとの関係



(2) ループ面積とフェライト面積率との関係

図3 交流磁化法による球状黒鉛鋳鉄の評価

#### 4. まとめ

片状黒鉛鋳鉄および球状黒鉛鋳鉄のチル含有量を推定する電磁非破壊評価法の可能性を検討するために、チル組織を含有する片状黒鉛鋳鉄および球状黒鉛鋳鉄のマイクロ・マクロ電磁特性、マイクロ組織および機械特性の評価を行った。特性評価によって得られた知見に基づき、電磁非破壊評価法の一つである交流磁化法を適用し、その有効性を検証した。今後、評価精度を高めることを検討するとともに、自動車関連の鋳造メーカーとの連携を通して、本手法の実用化に向けた取り組みを行う。

#### キーワード

省エネ型自動車、鋳鉄材料、チル組織、電磁非破壊評価、磁気特性

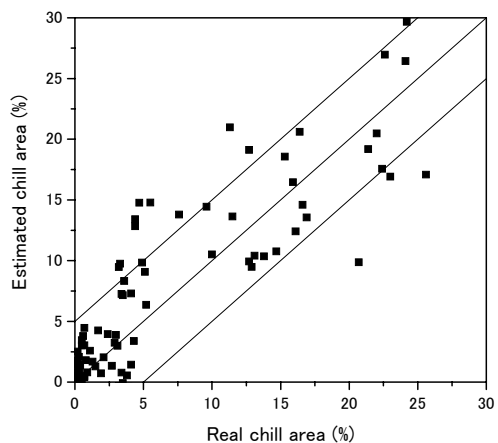


図4 交流磁化法によるチル率の推定