ノート

鋳鉄の組織と蛍光 X 線強度の検討

毛利　敦雄*　林　成実*　桑原　理絵*

Investigation of Cast Iron Structure and Fluorescence X-Ray Intensity

MOURI Atsuo*, HAYASHI Narumi* and KUWAHARA Rie*

1. 緒　　言

鋳鉄の蛍光 X 線分析では，けい素（Si）マグネシウム（Mg）などの蛍光 X 線強度が，組織の違いにより異なる事例が報告されている [1) 2) 3)]。本研究では，球状黒鉛鋳鉄（以下 FCD）の正常組織，白銑組織と球状化剤について走査型電子顕微鏡分析を行い，Mg の蛍光 X 線強度の違いについて検討を行った。

2. 実験

2.1 蛍光 X 線分析

蛍光 X 線分析装置はブルカー・エイエックスエス（株）製 S8 TIGER 4kW を使用した。Rh 管球を備えた波長分散型の装置である。

2.2 評価

金属顕微鏡と走査型電子顕微鏡（SEM/EDS）で評価を行った。使用した金属顕微鏡はオリンパス光学工業（株）製 BX-60M-53MB，走査型電子顕微鏡は日本電子（株）製 JSM-6060A である。

2.3 試料

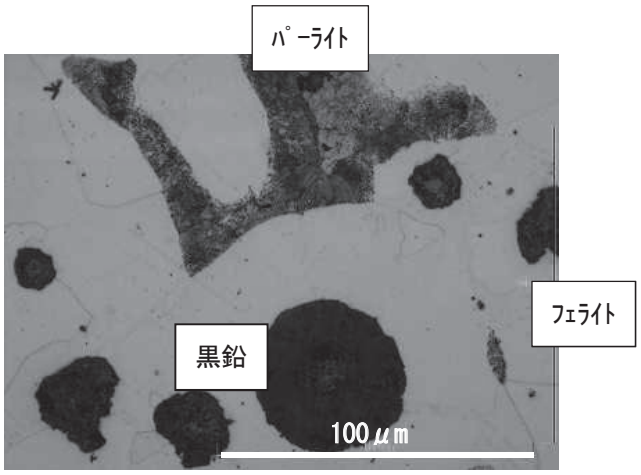
測定した球状黒鉛鋳鉄の成分を表 1 に，500 倍金属顕微鏡写真を図 1 に示す。FCD 正常は企業より依頼試験で当所に持ち込まれた試料で，成分は炭素硫黄分析（C，S），湿式分析（Si，Mn，P），ICP 発光分光分析（Cr，Cu，Mg）により求めた [4)]。FCD 白銑は市販の機器分析用標準試料を使い，成分は添付成分表より引用した。

*　中越技術支援センター

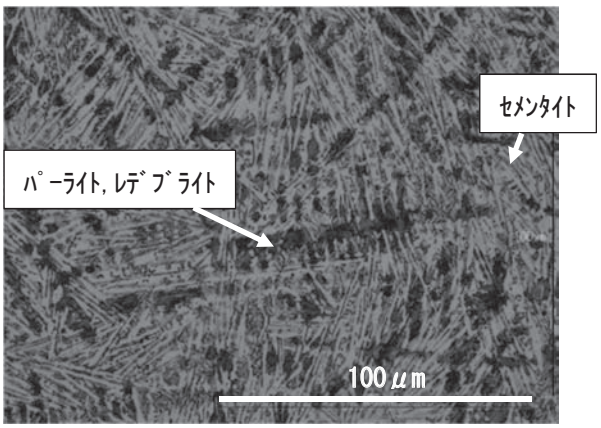
FCD 正常はフェライト，パーライトの鉄素地中

表 1　試料成分（%）

試料	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mg
FCD正常	3.67	2.54	0.31	0.030	0.011	0.025	0.061	0.043
FCD白銑	3.42	2.98	0.54	0.014	0.002	---	0.04	0.054



FCD 正常（×500）



FCD 白銑（×500）

図 1　金属顕微鏡写真

に黒鉛が分散する正常組織で，FCD 白銑は白色針状のセメンタイトと黒色樹状のパーライト，レデブライトが混在する組織である。白銑は鋳鉄溶湯を急冷すると現れる組織で，正常組織に比べエネルギー的に不安定な準安定状態である。

2.4　結果と考察

2.4.1　球状化剤の電子顕微鏡分析結果

FCD 正常に使用した球状化剤を入手して，走査型電子顕微鏡による観察と分析を行った。球状化剤メーカーの分析値を表 2 に，球状化剤の SEM 写真と EDS 分析結果例を図 2 に示す。球状化剤には Mg の他に，Ca，Al，Ce，La（後者 2 成分は併せて RE と標記）が添加されており，マトリックスであるフェロシリコン（FeSi）中に MgSi 相，MgAlSiCa 相，SiCaCeLa 相が金属間化合物として分散していることがわかった。図 2 のチャートは MgAlSiCa 相の分析例である。

2.4.2　FCD の電子顕微鏡分析結果

球状黒鉛鋳鉄における Mg の分布状況を明らかにするため，FCD 正常と FCD 白銑について，走査型電子顕微鏡による観察と分析を行った。

FCD 正常についての点分析測定例を図 3 に示す。FCD 正常の黒鉛中央部に径数 μm 程度の Mg 含有粒子が，フェライト，パーライト中に同様に径数 μm 程度の粒子と，フェライト中には径数 μm 程度の空孔が分散している状況が確認された。これら鉄素地の粒子からはかなりの頻度で Mg が検出された。また，空孔からは Mg が検出される例も確認された。図 3 に黒鉛，フェライト中の Mg 含有粒子とフェライト中 Mg 含有空孔の測定例を示す。図 3 の Mg 含有粒子は，MgAlSi を含む球状化剤由来の粒子である。Mg 含有粒子は MgAlSi 型以外にも，MgSiS，MgAlS，MgSiP，MgO，MgP 型の粒子が，また Ca，Ce，La を含む粒子も観察された。なお，Mg 含有空孔と粒子は区分されるものではなく，空孔と粒子が共存するものなど，中間的な形態も認められた。

FCD 白銑においては，Sb（球状化剤由来と推察される）を含む MgSiSb 型の粒子を確認した。

FCD 正常と FCD 白銑において，Mg 含有粒子と空孔以外のブランク部において点分析，エリア分析を行った。これらのブランク部では黒鉛，鉄素地ともに Mg のピークは認められず，ブランク部では Mg の存在は確認されなかった。

2.4.3　電子顕微鏡分析結果の考察

FCD の製造工程においては，球状化剤をあらかじめ取鍋にセットしておいて，溶解した鋳鉄を注

表 2　FCD 正常　球状化剤成分（%）

成分	Si	Mg	Ca	RE	Al	Fe
球状化剤	45.18	4.66	2.18	2.02	0.96	bal

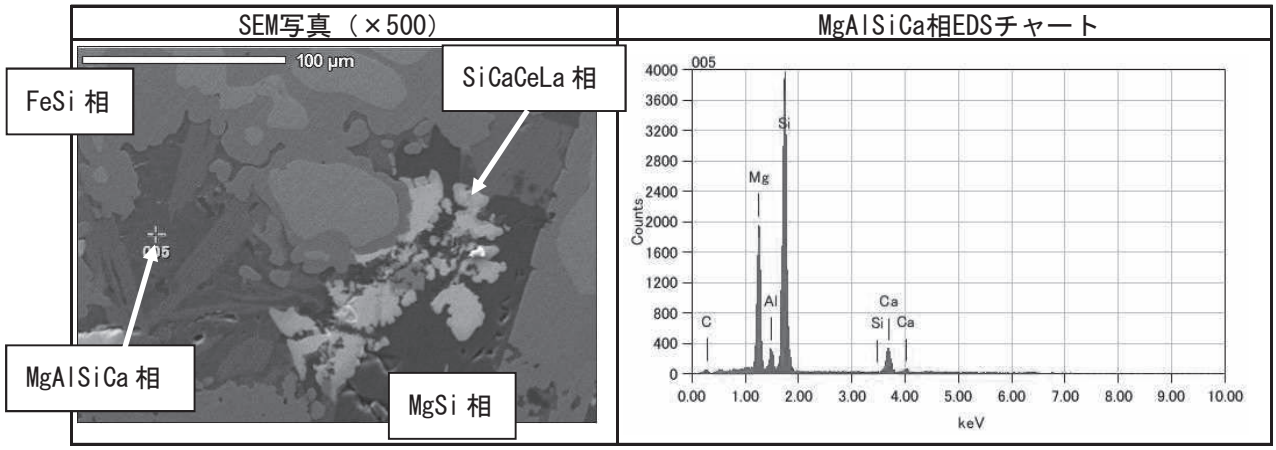


図 2　FCD 正常 球状化剤 SEM/EDS 分析例

ぎ，球状化剤を溶湯中に均一に分散させることにより球状化処理を行う。

黒鉛が球状化するメカニズムについては，諸説が提唱されているが定説は定まっていない。このうち，核説は黒鉛中に Mg，Si，O，S などからなる異種の核が存在するというもの，気泡説は球状化剤中の Mg が溶湯中で気泡を形成し，黒鉛が気泡表面から中心に向けて C 軸方向に成長するというものである[5) 6)]。

走査型電子顕微鏡分析結果からは，FCD 正常中に分散する Mg 含有粒子は，球状化剤に由来する粒子（MgAlSi）と，MgO，MgS など反応性の高い元素と反応した粒子が存在していること，また空孔には一部 Mg が含まれることがわかった。これは気泡説を援用すると次のように説明できる。溶湯中に分散した球状化剤は徐々に分解し，Mg が気化して気泡が生成し，球状黒鉛が成長する。

Mg は他元素と反応して消費されつつ，一部は微

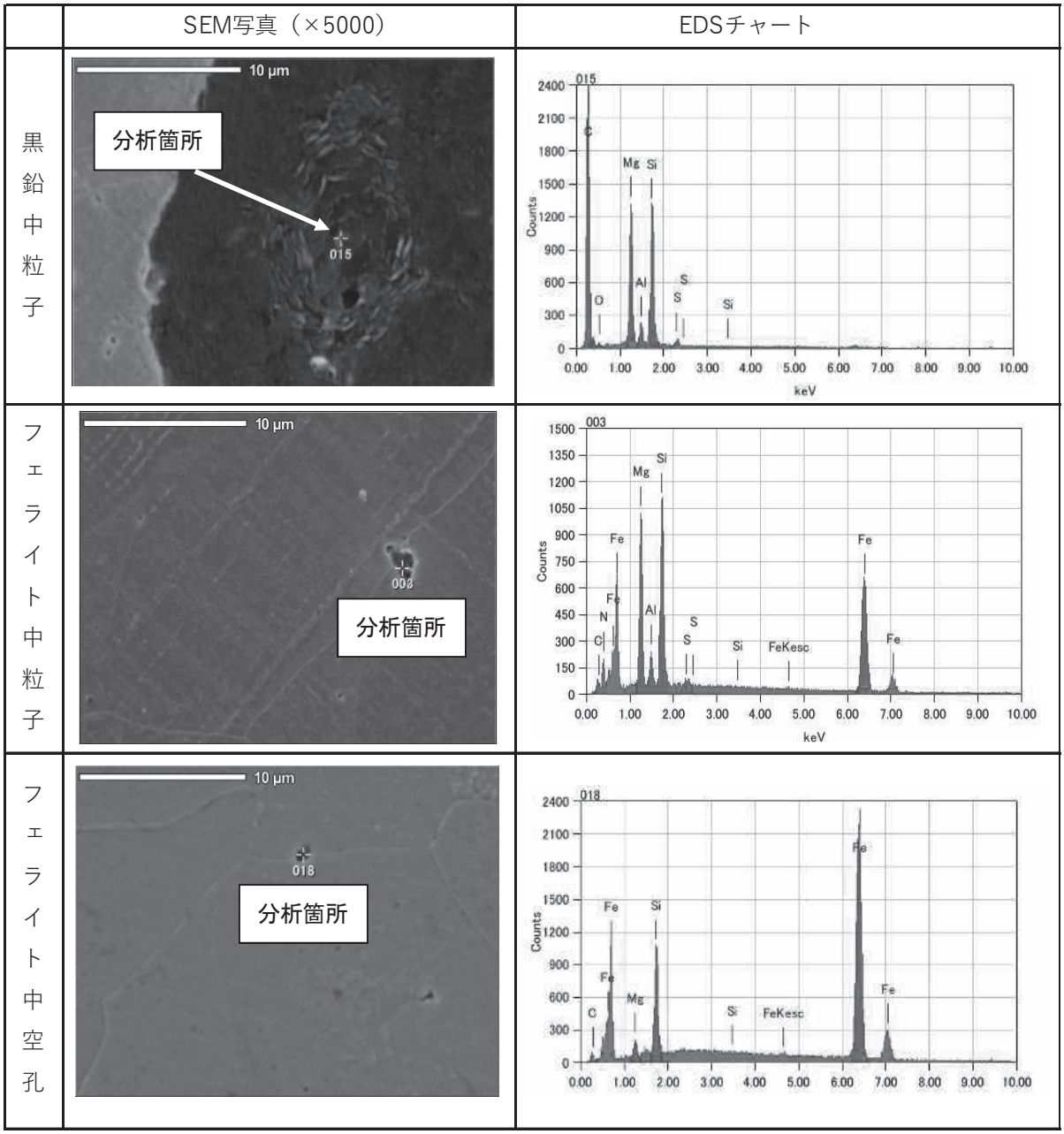


図 3　FCD 正常 SEM/EDS 分析例

細な空孔として残り，固体として凝結する。

Mg の鉄素地への固溶の可能性については，Mg -Fe 状態図 [7] によると，Mg と Fe は金属間化合物を作らず，Fe への Mg 固溶量は温度が下がるほど小さくて 600℃以下ではほぼ 0 になる。これと分析結果より，Mg 気泡から鉄素地への拡散は無視して良く，Mg は Mg 含有粒子，Mg 含有空孔に存在して，それ以外では無視して差し支えないものと思われる。

2.4.4 Mg 検量線の考察

Rh ターゲットの X 線管球から鉄に X 線が照射される場合，RhKα 線が 1/100 に減衰する深さ（侵入する深さ）は 230μm[2] である。表 3 に MgKα 線が Fe（鉄素地）C（黒鉛）で，90％吸収される厚さの計算結果 [8] を示す。これより，管球からの X 線は鋳鉄に 200μm 程度侵入し，この層に含まれる Mg は励起されて MgKα 線が放出されるが，MgKα 線が FCD から外に出てくる深さは，黒鉛からは 7.5μm，鉄素地では 0.6μm 程度であり，両者の透過厚に差があることがわかる。

FCD 正常と FCD 白銑の Mg 検量線を図 4 に示す [3]。両者は MgKα 線強度，傾きが異なっている。この理由は，MgKα 線の透過厚が大きい黒鉛を含む正常組織のほうが，白銑組織よりも MgKα 線強度が高くなるためと思われる。

表 3　MgKα線の 90%吸収厚

媒体	媒体密度 (g/cm^3)	蛍光X線	90%吸収厚 (μm)
Fe	7.86	MgKα線 (1.253keV)	0.6
C	2.25	MgKα線 (1.253keV)	7.5

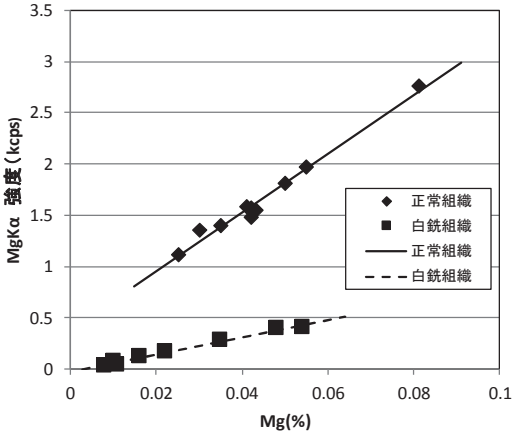


図 4　Mg 検量線

3. 結　　言

（1）球状黒鉛鋳鉄正常組織の黒鉛中と鉄素地中に径数 μm 程度の Mg 含有粒子と，フェライト中に Mg 含有空孔の存在を確認した。白銑組織の鉄素地においても Mg 含有粒子の存在を確認した。それ以外の領域では Mg の存在は確認されなかった。

（2）Mg 含有粒子は球状化剤由来と，O，S などの元素との反応物であることを確認した。

（3）正常組織と白銑組織で Mg 検量線の傾きが異なる原因は，MgKα 線の透過厚が鉄素地よりも黒鉛で大きいため，正常組織の黒鉛からの MgKα 線の寄与が大きいためと考えられる。

参考文献

1）村松哲夫ら，“銑鉄のけい光X線分析と発光分光分析の比較研究”，鉄と鋼，vol.58，No.14，1972，pp.2014-2059.

2）毛利敦雄，“鋳鉄の組織と蛍光X線分析定量値の検討”，工業技術研究報告書，No.43，2014，pp,48-50.

3）毛利敦雄，H25 年度小規模研究報告書“蛍光 X 線分析装置の性能把握−鋳鉄の組織と定量値の検討”，2013.

4）JIS G1212，JIS G1213，JIS G1214，JIS G1258

5）中江秀雄監修，“新版鋳鉄の材質”，（公社）日本鋳造工学会，2012，pp.20-21.

6）（社）日本鋳造工学会編，“鋳造工学便覧”，丸善（株），2002，pp.236-238.

7）https://astamuse.com/ja/drawing/JP/2014/164/901/A/ 000010.png

8）ブルカーエイエックスエス，S8TIGER，吸収係数計算ソフトウェア