

## 低膨張球状黒鉛鑄鉄のヤング率向上

藤川 貴朗\*, 近藤 義大\*

### Improvement of Young's Modulus for low Thermal Expansion Spheroidal Graphite Cast Iron

Takao FUJIKAWA\* and Yoshihiro KONDOH\*

Keywords: Spheroidal cast iron, Low thermal expansion, Young's modulus

#### 1. はじめに

超精密工作機械の加工精度を向上させるための構造部品用材料として、低熱膨張性を有する鑄鉄<sup>1) 2) 3)</sup>がある。この材料はインバー合金を鑄造品に発展させたものであるが、もともと圧延製品であり、強度が低く、軟質材で、切削加工性が悪いなどの特性を。鑄鉄の良好な鑄造性で補おうとするものである<sup>4)</sup>。しかしながら、極低熱膨張の材質、(いわゆる $\alpha$ が $0.5\sim 2.0\times 10^{-6}$ )では、常温で、ブリネル硬さ HB が120~130 程度、引張強さが球状黒鉛鑄鉄系で450 MPa、ヤング率140 MPa 程度であり、切削加工特性が良いとは言えない。さらに実際の鑄造品ではヤング率を140 MPa に維持することは難しくせいぜい100 程度になってしまうと言われている<sup>5) 6) 7)</sup>。

そこで、本研究では低膨張球状黒鉛鑄鉄において、低膨張特性と切削加工特性を両立させるため、低膨張係数、硬さ、ヤング率を満足するための、材料の組成と溶解条件を調査(主に炭素当量の変更)した。具体的には、25 mm Yブロックに鑄造した場合における、常温から200 °Cまでの平均線膨張係数が $2.0\times 10^{-6}$ 以下、黒鉛粒数150 個/mm<sup>2</sup>以上、ブリネル硬さHB160 以上、ヤング率120 MPa 以上を目標とした。

#### 2. 実験方法

##### 2. 1 供試材料の溶製と引張試験

高純度銑鉄、鋼屑、フェロシリコン、加炭材(電極棒黒鉛くず)、フェロマンガ、フェロサルファ、

電解ニッケル、電解コバルト、Ni-5%Mg 合金、接種材(Fe-Si-Ca-Ba-Al 合金)を用いて、高周波誘導溶解炉にて30 kg の供試材を溶解した。これを肉厚25 mm のYブロック鑄型(JIS G 5502 B 号)に鑄造し、JIS Z 22414 号引張試験片に加工した。この試験片にて引張強さ、耐力、ヤング率を測定し、試験片のチャック部から切り出した試験片にてブリネル硬さを測定した。別途有機自硬性鑄型で造形した、肉厚3, 5, 10, 25, 50 mm の階段状試験鑄型にも同じく鑄造し、黒鉛粒数の測定試験片とした。

##### 2. 2 黒鉛粒数測定方法

引張試験片のチャック部から試料を採取し、25 mm での鑄造組織の黒鉛粒数を測定した。また、階段状試験片からもそれぞれの肉厚ごとに黒鉛粒数を測定した。粒数測定はJIS G 5503(新JIS 法)に拠ったが、粒径が小さいのでカットは1 ミクロン以下とした。

##### 2. 3 熱膨張係数測定方法

熱膨張率測定は、炭素当量の低い試料LT05 について実施した。引張試験片を採取したYブロック位置直上から、水平位置で、径5 mm 長さ50 mm の熱膨張率測定用試験片を切削加工にて切り出した。熱処理条件は、鑄放し、923 K、4 時間保持後炉冷、1123 K、2 時間保持後水冷、1373 K、2 時間保持後水冷の4 種(いずれも大気中、熱処理後表面をサンドペーパーで仕上げ)とした。熱膨張は、溶融石英製熱膨張系にて、7K/min の昇温速度で20 °C から400 °C まで測定し、熱膨張係数は20~200 °C までの平均線膨張係数で整理した。

\* 金属研究室

### 3. 実験結果

#### 3. 1 供試材の化学組成および機械的性質

表1に供試材の化学組成を示す。ここでは、 $C + Si / 3$ を炭素当量(以下CE値とする)とし、0.8~1.6まで変化させた。表2に供試材の機械的性質(25

達成した。図3に同様にCE値とヤング率の関係を示す。ヤング率はCE値が少ないほど向上した。

#### 3. 3 熱膨張係数

表3に熱膨張係数の測定結果を示す。測定したのは試料LT05である。熱処理条件1273 K、2時間保持後炉冷のものをもっとも平均熱膨張係数が小さく

表1 供試材の化学組成(mass%)

試料 No	C	Si	Mn	P	S	Ni	Co	Mg	CE
LT03	0.76	0.17	0.10	0.011	0.002	31.8	5.2	0.022	0.82
LT04	1.28	1.05	0.18	0.012	0.002	32.6	5.3	0.039	1.63
LT05	0.78	0.24	0.18	0.007	0.003	32.7	5.3	0.032	0.86
LT06	0.96	0.30	0.14	0.007	0.001	32.5	5.3	0.050	1.06
LT07	0.94	0.36	0.20	0.005	0.002	33.5	5.3	0.029	1.06
LT08	1.18	0.56	0.18	0.006	0.002	35.1	5.5	0.042	1.37
LT09	1.32	0.98	0.21	0.007	0.002	34.1	5.4	0.045	1.65

表2 供試材の機械的性質

試料 No	引張強さ (MPa)	耐力 (MPa)	伸び (%)	硬さ (HB)	ヤング率 (MPa)
LT03	583	380	20	170	123
LT04	390	320	7.6	180	100
LT05	537	363	17.5	195	113
LT06	487	378	8.9	184	114
LT07	311	265	4.4	175	104
LT08	264	225	7.3	169	77
LT09	286	243	5.8	163	81

mm Yブロックからの試験片で測定)を示す。CE値が低いほど材料中の黒鉛量(体積率、面積率とも同じ)が減少することになり、弱い黒鉛が減少するので、引張強さ、耐力、ヤング率とも向上に寄与すると思われる。硬さも同様で、CE値が低いほど硬度は高かった。

#### 3. 2 供試材の組織と機械的性質

図1に階段状試験片の肉厚と黒鉛粒数の関係を示す。いずれの試料とも肉厚10 mm以上で粒数は十個から百個程度に収束している。このことから、Yブロックの肉厚25 mmの組織をもって材料の代表的な組織として扱うことにした。図2に肉厚25 mm Yブロック試験片の場合の供試材のCE値と黒鉛粒数の関係を示す。CE値が2.7以下の場合黒鉛粒数が増加して、140個/mm<sup>2</sup>となり目標の150個/mm<sup>2</sup>をほぼ

なった。

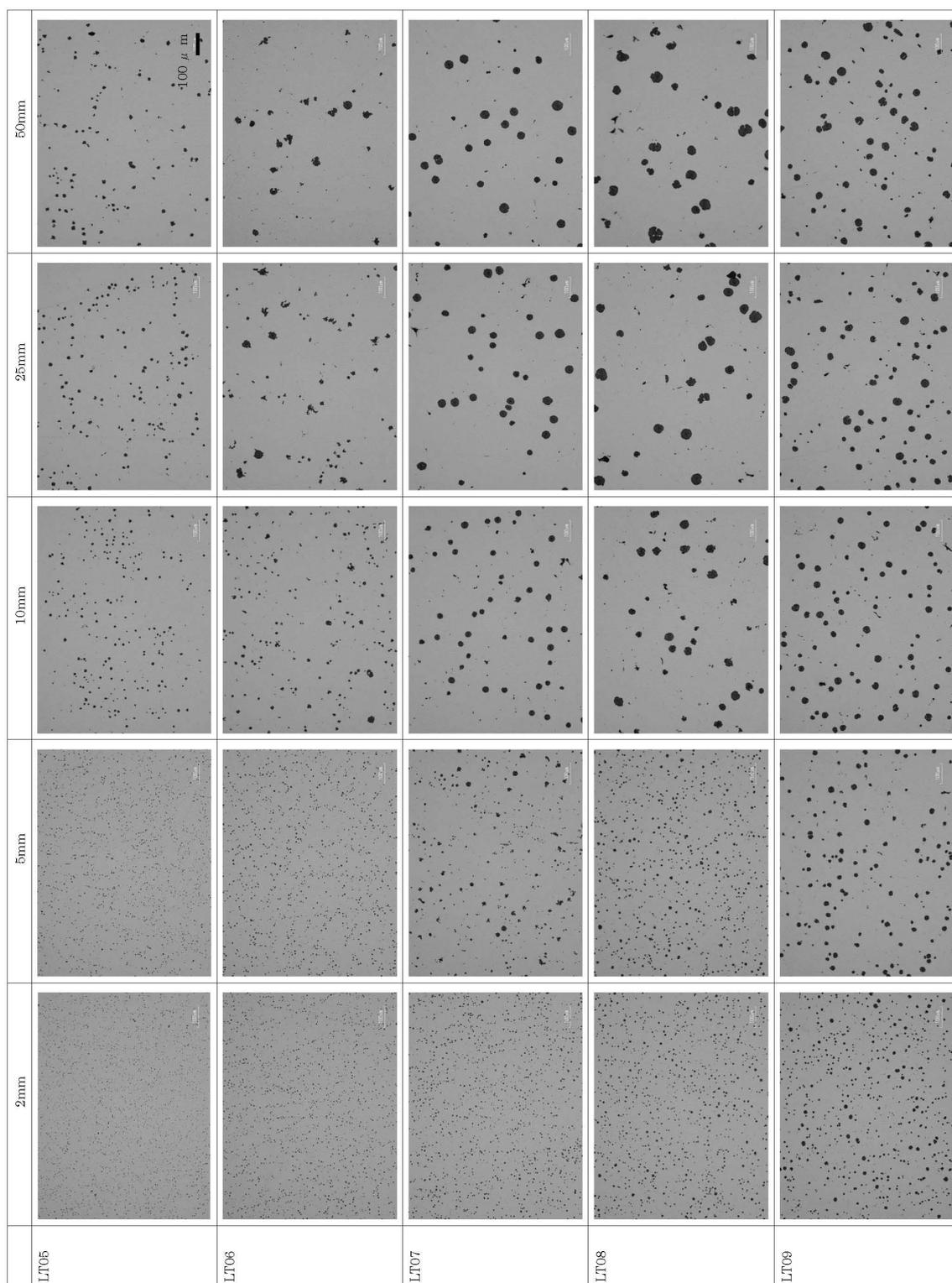
表3 試料LT05の熱膨張係数測定結果

条件	20~200°C × 10 <sup>-6</sup>
鑄放し	2.1
923K 炉冷	1.9
1123K 水冷	1.6
1327K 水冷	1.5

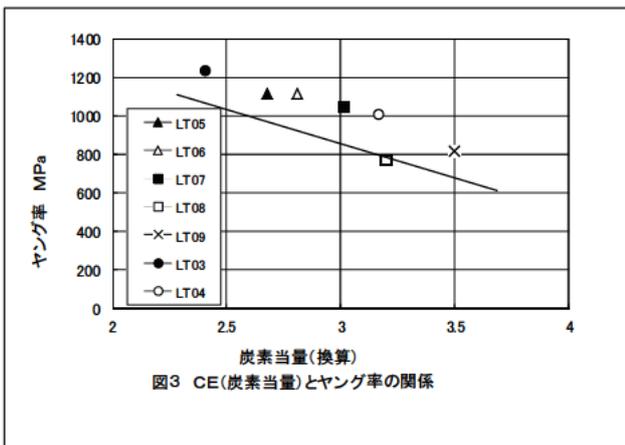
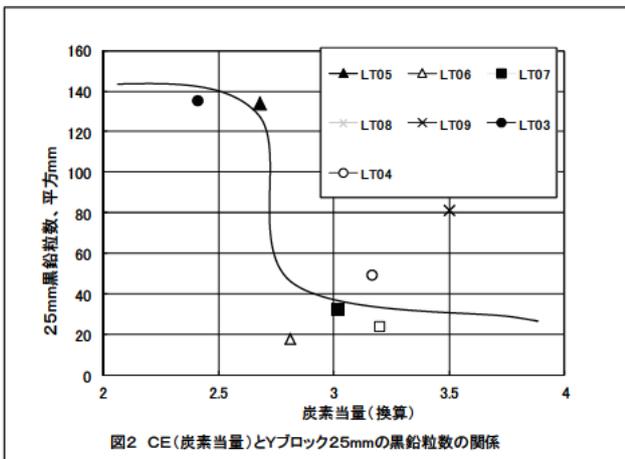
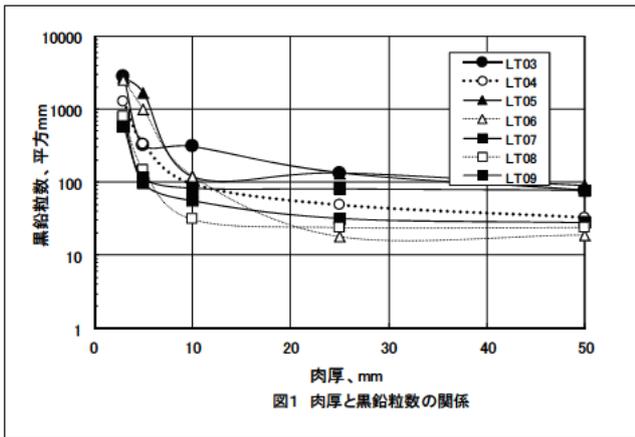
### 4. 考察

本実験で調査した球状黒鉛鑄鉄はNi 32%, Co 5%をベースとする合金であり、鑄造基地組織は全オーステナイトであって、その中に球状の黒鉛が分布している。したがってCE値が低いほど黒鉛の体積率(面積率にも同じ)は小さくなり、ヤング率はインバー合金の160 MPaに近づいて大きくなった。硬さも

図3 階段状試験片の黒鉛組織



同様で、CE値が低いほど硬くなる傾向にある。オーステナイトの硬さは、結晶中の炭素、珪素等の合金元素による固溶硬化も考えられるが、このばあいは黒鉛の体積率の影響の方が大きかったと考えられる。本研究のCE値の範囲は通常よりとても低いで、粒数をカウントした黒鉛は共晶黒鉛というよりはオーステナイトからの固相析出黒鉛である可能性がある。



低膨張球状黒鉛鋳鉄の加工特性向上のため設定したヤング率、硬さはCE2.7以下の化学組成で得られた。この時熱膨張係数は熱処理により、鑄放し状態より小さく改善できる。この効果はオーステナイト中のNi, Coなどの偏析が解消することによって言われており<sup>8)</sup>、本実験でも改善効果があり、 $1.5 \times 10^6$ の熱膨張係数が得られた。

機械的性質のうち伸びについては不安定な結果が得られたが、これは試験片中の微小な収縮巣によるものと考えられる。図4にYブロックの切断面に現れた収縮巣の様子を示す。必ずしもCE値が低い試料で収縮巣が多いわけではなく、これはその中心線にたくさん現れる傾向からみて、ガス(窒素)による収縮巣であると考えられる。CE値を下げるためSi量を低下させると溶湯は溶解中に激しく火花を散らし、炭素が燃焼してCOガスを発生するが、その際溶湯中の窒素を奪って系外にさる効果によるものと考えられる。別途溶解中にチタン、アルミニウム等を加えて強力な脱酸を行ってもこの巣が消せず、むしろ溶解時間が伸びるほど巣が減少することなどにより、これは窒素によるものと考えられる。球状黒鉛鋳鉄としての鑄造性の観点からは、ガスによる巣欠陥は好ましくないため、この対策が実用面では重要となる。

### 5. まとめ

低膨張球状黒鉛鋳鉄の加工特性向上のため、硬さ、黒鉛粒数、ヤング率の目標を満足する化学組成を調査した結果は以下の通りであった。

- 1) 炭素と珪素から計算するCE(炭素当量)値を2.7以下にすることによって機械的性質の目標を満足する低膨張鋳鉄材料が得られる。
- 2) 低膨張鋳鉄は熱処理により熱膨張係数をさらに小さくできる。
- 3) CE値が低いことおよび溶湯中に溶解している窒素により収縮巣が現れる。こちらの方が鑄造性の観点からは問題となる。

### 参考文献

- 1) 北川鉄工：“NC旋盤のタレットヘッド”素形材, 31(1), p7(1990)
- 2) (株)東芝ほか：“シリコンウェーハ用低膨張ポリッシング定盤”素形材, 31(1), p27(1990)
- 3) JIS G 5511(1991)：“鉄系低膨張鋳造品”

- 4) 生井亨：“新しい素形材－低熱膨張鑄造材“，  
鑄鍛造と熱処理，
- 5) 三重県工業研究所金属研究室：平成21年度ものづくり実証等支援事業受託試験研究報告書  
(2010)
- 6) 水谷予志生：“溶湯清浄の改善による低膨張鑄鉄の高品質化”（岐阜県機械材料研究所私信  
2009.6)
- 7) 旗手稔：平成21年度ものづくり実証等支援事業受託試験研究報告書(2010)
- 8) 旗手稔：“低熱膨張性を有する鑄鉄の特性に関する総括的研究” 博士学位論文， p52,近畿大学  
(1995)