

新聞紙バイオコークスを用いた 銑鉄レス鑄造における加炭効果の検証

富 田 義 弘

(近畿大学バイオコークス研究所)

【緒 言】

現在、鑄鉄製造の燃料や炭素源として、加炭材が用いられており、これらはCO₂発生源となり温室効果ガスの増加・地球温暖化に繋がっている。銑鉄鑄物の製造には、主にキュボラ炉や低・高周波誘導溶解炉が用いられており、鑄物製造の際、機械的性質向上に重要な添加元素である炭素(C)を加えるために加炭材が使用されている。しかし、石炭は有限な化石燃料であり、二酸化炭素の発生原因でもあるため、その使用低減が求められている。また、石炭使用によるCO₂や硫黄酸化物の排出は地球環境悪化の原因となっており、鉄合金の製造現場ではこれらが大きな問題となっている。そこでCO₂削減のための代替燃料としてバイオコークス(以下BICと略す)を鑄造に用いる研究を行っている。

現在、BICの中心材料は木くずなどの木質系バイオマスが一般的であり、これまでに木質や竹などのバイオコークスを用いた実験で加炭効果を検証できているが^{1)~2)}、この木くずもパーティクルボード(木材を一度小片にし、接着剤で再結合させた木材製品)やおが粉、堆肥、家畜用敷きわら等での用途が広がってきており³⁾、BICとして用いることができる量が今後減ることが予想される。そこで、廃棄される紙からBICを作り、木質系BICの代替検証を行う。新聞紙は毎日のように発刊されるもので、読み終えて必要なくなった新聞紙は基本的に廃棄されるか、再生紙にリサイクルされる。近年の環境問題への意識高まりなどによって、ちり紙交換だけではなく、新聞販売ルートでの回収や自治体による行政回収などさまざまなルートで回収が行われており一度にまとまった量が手に入る均質な紙である。この用途に新しい可能性としてBICを考える。

本実験では鑄鉄製造に使用する加炭材の代替燃料としてBICを使用し、高周波誘導溶解炉にて銑鉄を用いることなく、鋼くず、BIC、Fe-Si合金のみで銑鉄レス鑄造を行う。

以上より銑鉄、加炭材の使用低減が可能となる銑鉄レ

ス鑄造ができれば、従来の銑鉄よりも安価で地球環境を考慮した鑄鉄の製造が可能であると考えられる。

【実験方法】

鑄鉄は片状黒鉛鑄鉄とし、目標組成を表1に示す。鋼くずとバイオコークスとFe-Si合金にて成分調整を行う。本実験で使用した溶解材料(鋼くず、Fe-Si合金)の化学組成を表2に、新聞紙の各諸特性を表3に示す。

高周波誘導溶解炉で図1に示すように黒鉛るつばに鋼くず3.0kg、バイオコークス1.0kg、Fe-Si合金を準備した量の半分(バイオコークスの割合配分で量が異なる)を入れて昇温。BICの有炎燃焼終了時点で残りの鋼くず2.0kgを投入。溶湯を1,773Kまで昇温。燃えカスを除

表1 目標組成 (mass%)

C	Si	S
3.20	2.10	0.01

表2 溶解源材料の化学組成 (mass%)

	C	Si	Mn	P	S
鋼くず	0.21	0.064	0.75	0.029	0.004
Fe-Si合金	—	75	—	—	—

表3 新聞紙の各諸特性

生試料	水分	C	総発熱量	N	H
	mass%	mass%	Kcal/kg	ppm	ppm
新聞紙	6.53	40.9	4050	0.07	5.83



図1 るつばの断面図

去し、残りの Fe-Si 合金を用いて接種する。溶湯は分析用金型、シェル鑄型に鑄込み、完成した鑄鉄の成分分析と機械的性質の調査を行った。

溶解中に BIC が浮かないようにするつば内では BIC を底に敷きつめ、その上から押さえつけるように鋼くずを入れた。また、分析金型に鑄込んだ後、残りの溶湯をセラミックスフィルターが湯口に設置してある横型丸棒用シェル鑄型に鑄込んだ。

そして、作成した丸棒を 8 号試験片に加工し、引張試験を行った。引張試験後、マイクロカッターでブリネル硬さ試験用と黒鉛組織の観察用の試験片をカットした。

【実験結果】

1. 予備実験

鋼くず 5.0kg に新聞紙 BIC 1.0kg を加炭材として使用した場合の成分分析結果を表 4 に示す。

表 4 から新聞紙 BIC 1.0kg の加炭では目標組成に 0.27 mass% 足りなく、目標組成を達成させるのには BIC からの炭素の供給量が足りないことが分かる。

この結果より、1.0kg では目標組成に達しないので BIC を追加して目標組成の達成を目指す。BIC 追加分は炉内の温度が高いため、加炭される前に BIC が燃え尽きる可能性がある。その分歩留りが下がるものとして歩留りを 30%～35% の中間値の 32.5% と仮定して計算すると

$$9.975 + (x \times 0.409 \times 0.325) = 0.032 \times (5000 + x)$$

$$x = 1485 \text{ g}$$

よって、BIC の投入量を 1.5kg に増やして鑄造を行う。

2. 加炭実験結果

鋼くず 5.0kg に新聞紙 BIC 1.5kg を加炭材として投入した場合の成分分析結果を表 5 に示す。

表 5 より C と Si の両方で目標組成値を新聞紙 BIC 1.5kg 投入することによって達成できた。また、Mn, P 量に

ついては多少の増加があるもののその値は鑄鉄そのものに直接影響を及ぼす値ではないので BIC による影響はないと言える。

3. 機械的性質の比較

引張試験と硬さ試験の結果を表 6 に示す

ブリネル硬さの短所として誤差が生じやすいため、硬さ試験はそれぞれ 3 回ずつ行った。

4. 基地組織の比較

投入した BIC 量の違いにより光学顕微鏡で撮影した組織写真と基地組織を観察するために 3% ナイタールで腐食し、光学顕微鏡を用いて表面組織を撮影したものを図 2 に示す。

それぞれの黒鉛組織を比較すると、BIC 1.0kg では黒鉛サイズは 100m～200m である。BIC 1.5kg では黒鉛サイズは 200m～300 m である。

また、基地組織を比較すると両方の写真からパーライトが多少見られたが、1.5kg の方からはフェライトも多少析出しているのが見られた。これは加炭された炭素量の違いから 1.0kg の方にはフェライト組織は見られないと考えられる。

5. 燃焼試験結果

(株)アーク社製のバイオマスボイラー(ガシファイアー)を用い 973K～1023K の環境下で BIC を燃焼させ、時間による変化を撮影した。この結果を図 3 に示す。

図 3 から新聞紙 BIC の有炎燃焼時間は約 30 分であることが分かる。その後は 50 分程度で灰になる。

6. 冷間圧縮試験結果

作成した BIC の圧縮強度特性を調べるため、精密万能試験機を用いて、円柱型の成型後固形物を上面より載荷速度 1.5mm/min で荷重を付与し、常温で圧縮を行った。この結果を表 7 に示す。

表 4 化学組成分析 (mass%)

C	Si	Mn	P	S
2.93	1.76	0.73	0.19	0.0092

表 5 成分分析結果 (mass%)

C	Si	Mn	P	S
3.28	2.15	0.75	0.20	0.0134

表 6 機械的性質

BIC (kg)	最大荷重 (kgf)	引張強さ (MPa)	引張強さ (kgf/mm ²)	ブリネル硬さ (HB)
1.0	10200	318	32.5	218
1.5	7985	249	25.4	177

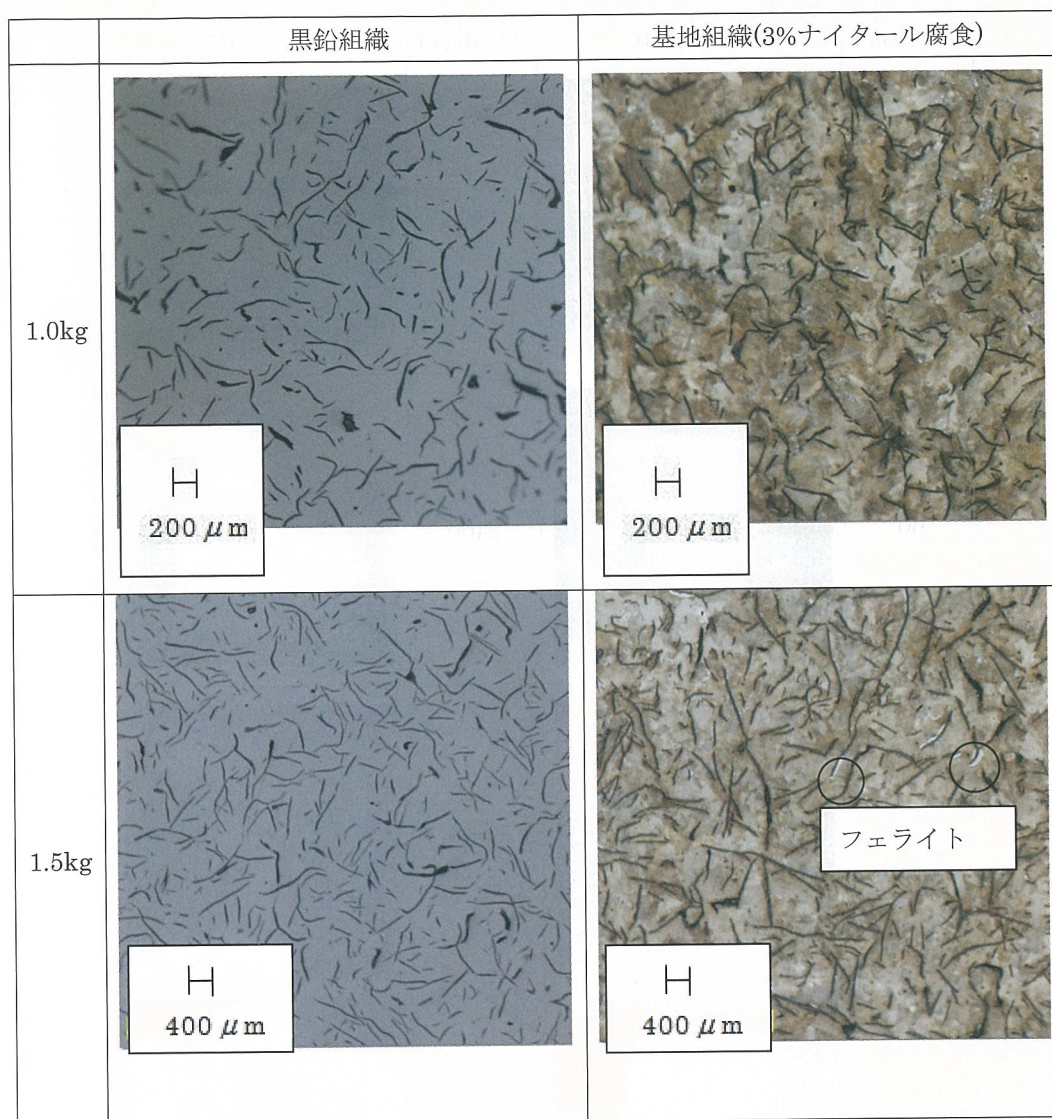


図2 顕微鏡組織

7. 熱間圧縮試験

高温雰囲気下（973K）で圧縮試験を行い、最高圧縮強度を求めた。熱間圧縮試験は空気雰囲気のもと、予加熱・定荷重区間と高温圧縮試験区間とに分けて行い、予加熱・定荷重区間では、973Kに達するまで高炉内で掛

かると推定される0.1MPaを試料に一定に加え続け、973Kに達した後、圧縮試験へと移行する。圧縮試験は、鉛直方向に載荷速度1.5mm/minとした。圧縮試験の結果を表8に示す。

表7 冷間圧縮試験結果

名前	直径(mm)	高さ(mm)	質量(g)	含水率(%)	温度(K)	最大応力(MPa)
sample 1	48	42.38	98.73	10	453	115.3
sample 2	48	42.46	98.60	10	453	111.7
sample 3	48	41.81	98.04	10	453	99.3

表8 熱間圧縮試験結果

直径(mm)	高さ(mm)	質量	含水率(%)	温度(K)	最大応力(MPa)
48	39.21	99.24	10	453	8.5



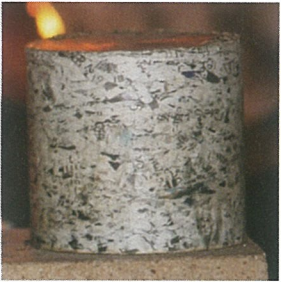

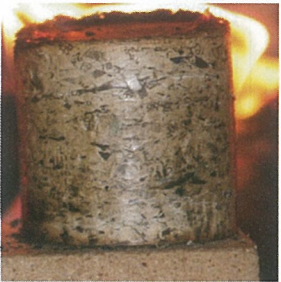




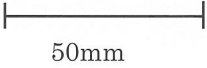
時間(sec)	新聞紙 BIC	時間(sec)	新聞紙 BIC
0		1800	
60		2400	
300		3000	
600		3600	
1200			

図 3 燃焼の様子

【考 察】

BIC の添加量の違いによる分析を比較すると、C 量は BIC の添加量を増やせば増加する。ただし、加炭効果に

関しては BIC を増やすだけでは効率が上がるわけではないと言える。これは、BIC の燃焼時間や、炭素と酸素の結合による CO や CO_2 の発生で BIC に含まれる炭素量が変化したことで加炭効果が損なわれたと考えられ

る。Mn, Pについては元の鋼くずから微減はしたものの鑄鉄そのものに影響を及ぼすものではない。Sについては、鑄鉄に影響を及ぼすほどのものではないが微増しており、その量もBICの投入量によって増えている。特に1.0kgから1.5kg投入時に約50%の増加が見られた。新聞紙内に含まれるS量による変化であると考えられ、鑄鉄辞退に影響を及ぼすほどの変化は見られないがS量の変化を考えた鑄造をする際には注意が必要である。

機械的性質の観点から見るとBICの増加に伴い鑄鉄内のC量が増えたことにより、黒鉛が多く晶出されるため引張強さは低下する。また、それに伴ってブリネル硬さも低下する。C量の増加とともに黒鉛周りにフェライトが析出したことも引張強さの低下に影響があると考えられる。

また、組織写真より黒鉛の大きさと分布の仕方から1.0kgおよび1.5kg投入の両方ともA型組織であり、黒鉛の大きさはBIC1.0kg投入時で約 $180\mu\text{m}$ ~ $300\mu\text{m}$ 、黒鉛形態の分類だとA型Ⅲ群、1.5kg投入時で約 $400\mu\text{m}$ ~ $500\mu\text{m}$ 、黒鉛形態の分類はA型Ⅱ群とみられる。3%ナイトール腐食写真より、両方の結果でパーライト組織が確認され、BIC1.5kg投入時に一部黒鉛周りにフェライト組織が析出された。これは炭素量が高くなることで黒鉛が成長しパーライトが減少したためである。

燃焼試験ではBICは火が点きにくい物質であり、この性質は長期保存の観点から安全面に考慮されたものであると言える。そして着火した後は高火力かつ長時間燃え続けるといった燃焼特性を持っている。

また、図3より形をずっと維持し続けて燃えている。これは鑄造時に形が崩れて燃え尽きることなく加炭材としての役割を果たす事ができると考えられる。

冷間圧縮試験は常温下で行われる試験であり、石炭コークス(20MPa)と比べられることが多い。これはBICを常温での取扱いやすさ等を確認するため測定する。最大応力は新聞紙BICの最大応力115MPaを記録しており、最大で石炭コークスの約5.5倍の強度を持つ

ていることが分かった。熱間圧縮試験973K雰囲気にて0.1MPa以上の圧縮強度を有しており、鑄物用や冶金用石炭コークス代替の可能性があることが分かった。以上より、973Kまで十分に耐荷重性能を有しており、溶解炉内部(1773K以上)でも耐荷重性能を維持できる。

【結 言】

新聞紙バイオコークスを用いて鋳鉄レス鑄造を行った結果、以下の事柄が明らかになった。

1. 鋳鉄・加炭材を使用せずに鋼くずと新聞紙バイオコークスを使用することでコスト削減と環境に配慮した鋳鉄レス鑄造ができる。
2. 新聞紙に含まれる炭素量が木質系バイオマスよりも低いため鋳鉄レス鑄造において必要となる量は木質よりも代替量が必要である。
3. 燃焼実験より、形を保ちつつ燃え続けるため、炉内での加炭時間が長くなり、加炭効果が大きい。
4. 冷間圧縮強度が最大で115MPaであり、高温圧縮試験では予加熱・定荷重区間において、高温(973K)雰囲気に至るまで0.1MPaの荷重に耐え、高温環境下での最高圧縮強度は8.5MPaとなり、溶解炉内部でも耐荷重性能を維持できる。

以上より新聞紙BICは鋳鉄レス鑄造において加炭効果を持ち、鑄造における加炭材の代替が可能であり、鑄物用および冶金用石炭コークス代替が可能である。

【参考文献】

- 1) バイオコークスを加炭材として用いた鑄鉄の機械的性質に及ぼす炭素、窒素量の影響、富田義弘、鑄造工学、第85巻(2013)1号、pp.15-20。
- 2) 高周波誘導溶解炉におけるバイオコークスの加炭材代替効果の検証、富田義弘・尾鼻美規・井田民男、スマートプロセス学会誌、第5巻(2014)3号、pp.289-294。
- 3) 紙パルプ産業と環境2013電力、古紙、森林、～新たな課題への挑戦～(紙業タイムス社)(2012)194。