

平成25年度戦略的基盤技術高度化支援事業（継続事業）
（次世代硫黄フリー“バイオコークス”キュポラ溶解による低コスト
鋳造法確立と高機能鋳鉄部材製造技術の開発）

研究開発成果等報告書

平成26年3月

委託者 東北経済産業局

委託先 国立大学法人岩手大学

目 次

第 1 章 研究開発の概要

1.1 研究開発の背景・研究目的及び目標	2
1.2 研究体制	4
1.3 成果概要	9
1.4 当該研究開発の連絡窓口	12

第 2 章 本論

2.1 高性能鋳物用バイオコークスの開発	13
2.2 バイオ燃料キュポラ溶湯による軽量高強度鋳鉄の開発	16
2.3 バイオ燃料キュポラ溶湯による高強度鋳鉄の開発	19
2.4 バイオ燃料キュポラ溶湯による高耐摩耗鋳鉄の開発	23
最終章 全体総括	26

第 1 章 研究開発の概要

1.1 研究開発の背景・研究目的

1.1.1 研究の目的

現在、キュポラ溶解には、主に中国産の石炭コークスを使用し溶湯を得ているが、硫黄含有量の多い粗悪品や価格高騰を背景に低コストへのニーズと、化石燃料消費に伴う CO₂ 排出については、地球環境問題から温室効果ガス削減への強いニーズがある。

本研究開発では、燃焼により発生する CO₂ は植物由来のためカーボンニュートラルにより排出量としてカウントされない優位性をもつ鑄造用バイオコークスの製造技術を開発し、さらにバイオコークスを用いたキュポラ溶解による低コスト鑄造法を確立し、硫黄フリーバイオコークスによる優れた溶湯性状を生かした片状黒鉛鑄鉄の薄肉・高強度化、耐摩耗性と切削性向上、コスト低減を実現する技術の高度化を図り、高度化ニーズが高い自動車や建設機械分野へ貢献する技術開発することを目的とする。

1.1.2 研究の背景

鑄造業界においても地球環境問題への対応は避けられず、また昨今の急激な円高傾向は日本でものづくりを継続させるため、低コスト技術の実現は必要不可欠である。

鑄鉄を溶解するためのキュポラは、溶解能力 3t/h 以上は国内 100 社以上で使用され、東北では、1 割強の事業者が鑄造のため使用している。コークスは石炭を蒸し焼きにした化石燃料で、鑄鉄を製造する際の固形燃料で中国産が多い。価格推移は表 1 のとおりで、低コストが要求されるなか、5 年で約 5 倍の高騰は異常であり、さらに東日本大震災を契機とする電力使用制限によりキュポラ溶解の頻度が増加するなか高コスト要因となっているが製品価格へ転嫁できず、経営を圧迫させている。

また、鑄造業界は化石燃料への依存が高いため、多くの企業が省エネ法の届け出対象になっている。省エネ法では届け出事業者エネルギー使用の合理化に努めると共に CO₂ 排出事業者として抑制の責務が課せられ、こうした状況下コークス代替材料として、バイオコークスに着目した。

バイオコークスは産業用途に要求される一定程度の発熱量を有した純国産の固形燃料で価格が安定し、さらに成分中の硫黄量が極めて少なく、鑄鉄溶解材料として利点が多い。また、燃焼により発生する CO₂ は植物由来のためカーボンニュートラルにより排出量としてカウントされない優位性があり、省エネ法においても届け出対象エネルギーから除外されている。これまで研究開発されたバイオコークスはゴミ焼却炉などの燃料用コークスのため、キュポラ溶解用としては、地金の荷重に耐え崩れない圧縮強度が必要とされているが、現状では強度が不足してコークスの性能が十分ではない。また、原料バイオマス毎の成分や鑄鉄の性状への影響が不明など解決すべき問題がある。

この問題を克服して世界ではじめての鑄物用バイオコークスによるキュポラ溶解は、新規性独創性を有するとともに、中国産の石炭コークスに比べて、低価格、低硫黄量となることが期待でき、鑄鉄溶解技術の高度化が可能となる。

また鑄鉄の溶解炉として、キュポラの需要は高く、この理由は「高周波誘導電気炉に比べて設備費が安い」こと、「構造が簡単で補修が容易」なことが挙げられるが、溶湯の性状として、電気炉溶解した鑄鉄に比べて、キュポラ溶解した鑄鉄は切削性が良いという特徴を持つ。これはキュポラ溶解での精錬効果により溶湯の性状が良くなるためとされている。

購入年	コークス価格
2006 年	29,000 円/t
2007 年	33,000 円/t
2008 年	70,000 円/t
{} {} {}	{} {} {}
2011 年	110,000 円/t
※岩手大学が鑄造事業者へ聞き取り	

一方、キュポラ溶解した鑄鉄は、燃焼原料に石炭コークスを使用するために、溶解時に混入する硫黄量が 0.1%と高く、鑄鉄の材質において硫黄量が多くなると、黒鉛形態不良、チル化、強度低下など問題が生じるため、キュポラ溶湯は一端溶湯の脱硫処理（硫黄量を 0.02%程度に減らす処理）を行う場合がある。

鑄鉄材質に関して、これまで岩手大学では、マンガン（Mn）添加による高強度鑄鉄の開発に取り組み、マンガン（Mn）を鑄鉄に添加することにより硫黄と結びついて硫化マンガン（MnS）を形成し、硫黄（S）による鑄鉄への悪影響を無害化する効果をもつと共に基地のパーライトを促進することで強度が増加することを明らかにした（シーズ1）。また、2%Mn添加試料において低硫黄量（0.02～0.05%程度）でさらに強度が増加することを明らかにした（シーズ2）。

さらに、鑄鉄のチル化防止、黒鉛化促進の観点から、アルカリ土類元素を鑄鉄溶湯に添加することによりチル化低減（チル深さが減少する）に効果があることを明らかにした（シーズ3）。また、高 Mn 鑄鉄の薄肉化の観点から、チル化防止のための最適な炭素（C）量とシリコン（Si）量を研究した結果、同一炭素当量（CE 値）での C 量、Si 量の適正バランス（Si/C 比）を明らかにした（シーズ4）。

本事業では、これらのシーズを活用した応用開発を行いバイオコークスキュポラ溶湯を用いた薄肉・高強度化、耐摩耗性と切削性向上等に係る高機能鑄鉄部材製造技術の高度化を行い、自動車部材、建設機械部材等の開発を行う。

1.1.3 実施内容

① 高性能鑄物用バイオコークスの開発（鑄鉄溶解用バイオコークス製造技術の高度化）

（日本砥研株式会社、株式会社ナニワ炉機研究所、国立大学法人岩手大学）

りんご搾りかす、もみ殻、稲わらから作成したバイオコークスは、成型条件が確立されていないため、圧縮強度不足や小さいもの（φ 8 以下）しか製造できない課題を有する。さらに、バイオコークスの成分や鑄鉄の性状に及ぼす影響が解明されておらず、鑄鉄溶解専用のバイオコークスの製造技術が確立されていない。

本研究開発では、導入する大型バイオコークス成型装置を用いて調達した原料バイオマスごとに乾燥時間、粉碎時間、添加物配合割合、成型温度を変えてバイオコークスの試作を行い、各条件により作成したバイオコークスの圧縮強度を測定し、鑄鉄溶解用としての最適条件を確立する。さらに、小型キュポラ炉を用い鑄鉄の性状に及ぼすバイオコークスの配合割合の影響を調べる。

② バイオ燃料キュポラ溶湯による軽量高強度鑄鉄の開発（鑄鉄製厨房品の高度化）

（有限会社及春鑄造所、国立大学法人岩手大学、奥州市鑄物交流センター）

高齢化社会における安心・安全で質の高い生活の実現に向けて、軽量で安全な厨房品が求められている。これまでの高硫黄（S）キュポラ溶湯では、薄肉化するとチルが発生して厨房品が割れるという問題が起こった。本研究開発では、小型キュポラ（0.7 トン）においてバイオコークスによる代替を図り低コスト鑄造法を確立するとともに、この低硫黄キュポラ溶湯を用いることで、低 S（シーズ2）と C 量、Si 量の適正バランス（シーズ4）等の新しいシーズの組み合わせで従来 4～5 mm の肉厚を 3 mm 以下とする薄肉強靱な軽量厨房製品の製造技術の確立を図る。

③ バイオ燃料キュポラ溶湯による高強度鑄鉄の開発（鑄鉄製ハブの高度化）

（株式会社根岸工業所、国立大学法人岩手大学、奥州市鑄物交流センター）

建設機械用ハブの引張強さは 250MPa で、基地組織にフェライトの発生や高 S 量による黒鉛形状のばらつきがあり、問題となっている。また、現状ではこれらの部品は切削工程も多く、高強度でも切削性の良い（快削性）鑄鉄が望まれている。

本研究開発では、中型キュポラ（2 トン）においてバイオコークスによる代替を図り低コスト鑄造法を確立するとともに、この低硫黄キュポラ溶湯を用いることで、高 Mn 鑄鉄（シーズ1）、低 S（シーズ2）とチル低減のためのアルカリ土類元素添加（シーズ3）による溶湯処

理と組み合わせることで300MPaを超える引張強さを有する高強度鑄鉄製ハブの高度化を図る。

④ バイオ燃料キュボラ溶湯による高耐摩耗鑄鉄の開発（鑄鉄製ライナーの高度化）

（株式会社日ピス福島製造所、国立大学法人岩手大学）

ディーゼルエンジン用ライナーは、熱衝撃特性向上のためCu、Mo、B等の元素が多く含有されており、かつ黒鉛量も非常に多いため引張強度は230MPaと低いので、エンジンの高出力化に伴い、引張強度の向上が課題である。

本研究開発ではバイオークスを用いた低硫黄キュボラ溶湯を用いることで、低硫黄と高Mn溶湯の鑄鉄組成の組み合わせによりMnSを晶出させて耐摩耗性を向上させ、注湯温度と冷却速度を制御して高強度化と耐摩耗性に優れた鑄鉄製ディーゼルエンジン用ライナーを開発する。

⑤ 研究全体の総括、プロジェクトの運営管理（国立大学法人岩手大学）

研究を円滑に推進するため、国立大学法人岩手大学地域連携推進センター及び総括研究代表者（PL）並びに副総括研究代表者（SL）は、研究開発プロジェクトの進捗状況の把握を行うとともに、アドバイザーを招聘し定期的な研究開発推進委員会を実施するなど、研究成果の事業化に向けて、産業界のニーズ等に基づく研究開発の方向性の最適化など本研究開発プロジェクトの円滑な実施を推進する。

⑤-1 全体計画の企画（国立大学法人岩手大学）

本研究に関する全体計画は、国立大学法人岩手大学地域連携推進センター及び総括研究代表者（PL）並びに副総括研究代表者（SL）で企画を行う。

⑤-2 進捗管理（国立大学法人岩手大学）

本研究開発の進捗にあたり、国立大学法人岩手大学地域連携推進センターが中心となり、資金管理にあたっては本学研究交流部研究協力課外部資金管理グループと、研究実施にあたっては工学部と連携をとり、また、次に掲げる研究推進委員会などを活用した進捗状況管理を行う。

⑤-3 研究推進委員会の開催（国立大学法人岩手大学）

本研究開発の実施にあたり、研究共同体メンバーに加え外部委員を交えた研究推進委員会を設置、年2～3回程度実施し、研究開発及び事業化に向けた適正化を図る。

1.2 研究体制

1.2.1 所在地

① 管理業務実施場所

国立大学法人岩手大学 地域連携推進センター（最寄り駅：JR東北新幹線 盛岡駅）

〒020-8551 岩手県盛岡市上田4丁目3番5号

② 研究実施場所（主たる研究実施場所については、下線表記のこと。）

国立大学法人 岩手大学工学部（最寄り駅：東北新幹線盛岡駅）

〒020-8551 岩手県盛岡市上田4丁目3番5号

日本砥研株式会社（最寄り駅：弘南鉄道黒石駅）

〒036-0412 青森県黒石市大字袋字兵岩沢9-2

株式会社ナニワ炉機研究所（最寄り駅：近鉄けいはんな線 新石切駅）

〒579-8037 大阪府東大阪市新町12-34

株式会社根岸工業所（最寄り駅：東北新幹線水沢江刺駅）

〒023-1101 岩手県奥州市江刺区岩谷堂字根岸101

有限会社及春鑄造所（最寄り駅：東北新幹線水沢江刺駅）

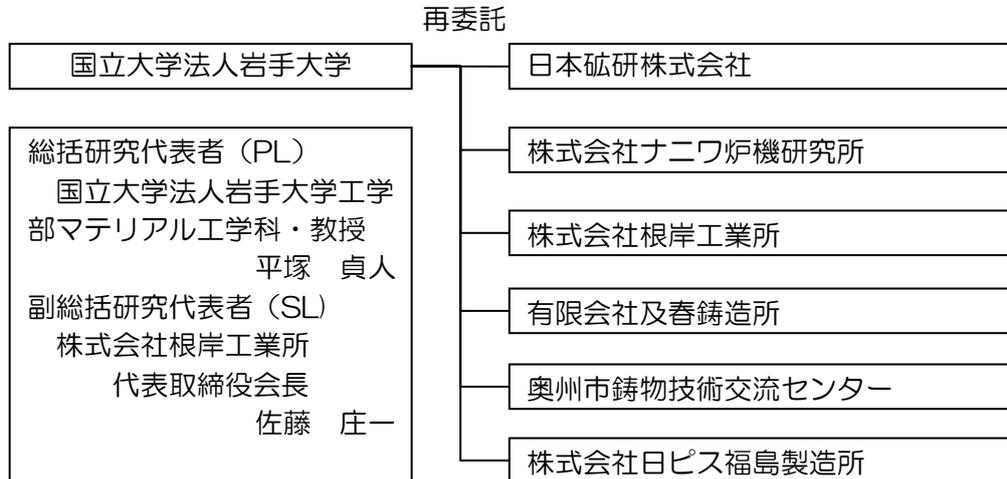
〒023-0132 岩手県奥州市水沢区羽田町字下屋敷37番

奥州市鑄物技術交流センター（最寄り駅：JR東北新幹線水沢江刺駅）

〒023-0132 岩手県奥州市水沢区羽田町字明正131番地

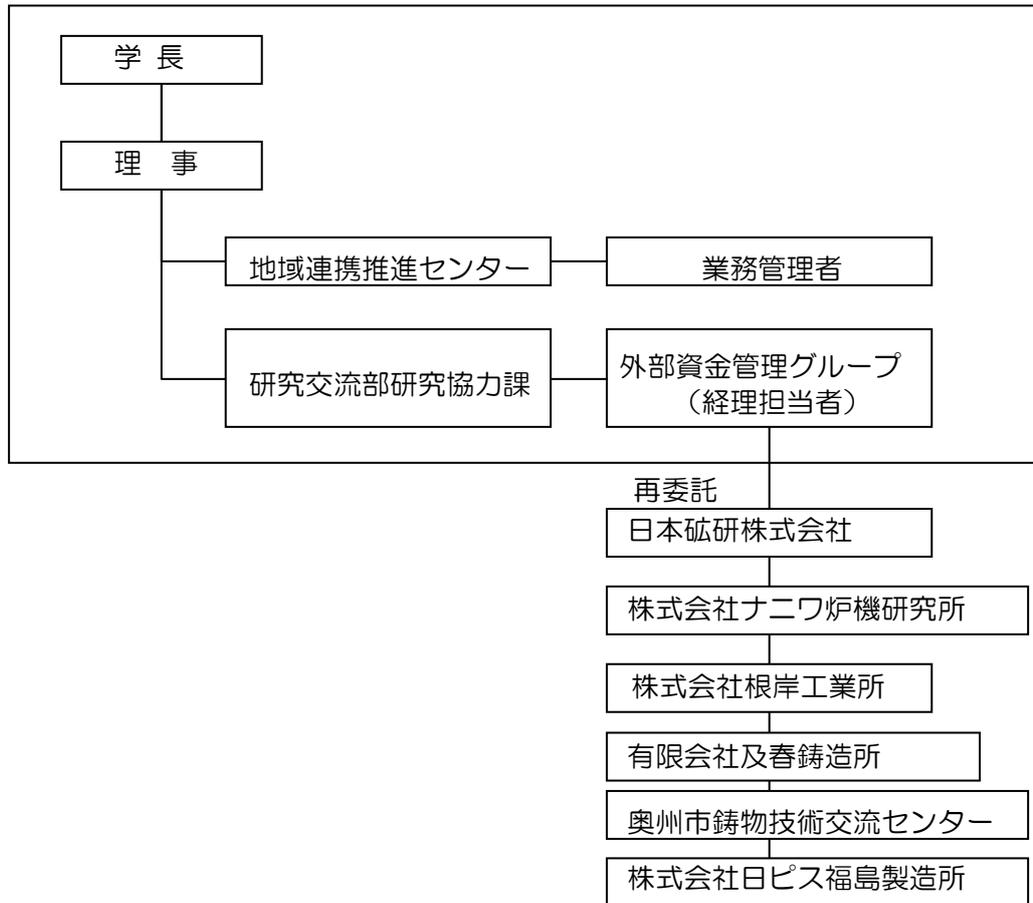
株式会社日ピス福島製造所（最寄り駅：東北新幹線福島駅）
 〒960-1401 福島県伊達郡川俣町飯坂字前中居1番地

1.2.2 研究組織及び管理体制
 研究組織（全体）



管理体制

事業管理者 [国立大学法人岩手大学]



1. 2. 3 研究員及び管理員（役職・実施内容別担当）

【事業管理者】 国立大学法人岩手大学

①研究員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
平塚貞人	工学部マテリアル工学科・教授	①③PL
小綿利憲	技術部・工学系第一技術室・技術室長	④
堀江皓	工学部附属鑄造技術研究センター・特任教授	①
鈴木政寿	工学部附属鑄造技術研究センター・技術補佐員	②

②管理員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
藤代博之	地域連携推進センター・センター長	⑤-1～3
小野寺純治	地域連携推進センター・教授	⑤-1～3
佐藤暢子	地域連携推進センター・准教授	⑤-1～3
横内孝之	工学部・特任研究員	⑤-1～3
東喜洋	研究交流部研究協力課外部資金管理グループ・主査	⑤-1～3
及川幸史	研究交流部研究協力課連携推進グループ・主査	⑤-2
下屋敷司	研究交流部研究協力課外部資金管理グループ・主査	⑤-2
伊藤寛将	研究交流部研究協力課総括・研究協力グループ・主任	⑤-2
近村元気	研究交流部研究協力課総括・研究協力グループ・主事	⑤-2
平塚貞人（再）	工学部マテリアル工学科・教授	⑤-1～3

③事務補助員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
照井真美子	地域連携推進センター・プロジェクト事務補佐員	⑤-1～3

【再委託先（研究員）】

日本砥研株式会社

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
小田昭浩	代表取締役社長	①
佐藤千香子	社員	①
五十嵐正彦	工場責任者	①
加藤めぐみ	開発部門・研究員	①
木村敬	開発部門・研究員	①

株式会社ナニワ炉機研究所

氏名	役職・所属	実施内容（番号）
村田博敏	専務取締役	①
立入勝啓	取締役技術部長	①
石井一義	研究員	①
野島聡大	研究員	①
後藤史朗	研究員	①
垣内進冨	研究員	①

株式会社根岸工業所

氏名	役職・所属	実施内容（番号）
佐藤庄一	代表取締役会長	③SL
佐藤輝貴	代表取締役社長	③
藤原規夫	技術顧問	③

有限会社及春鋳造所

氏名	役職・所属	実施内容（番号）
及川貢基	取締役社長	②
及川春樹	取締役専務	②
及川浩正	社員	②

奥州市鋳物技術交流センター

氏名	役職・所属	実施内容（番号）
米倉勇雄	副所長	②③
中山雅彦	主任	②③

株式会社日ピス福島製造所

氏名	役職・所属	実施内容（番号）
佐藤英樹	グループリーダー	④
小山裕二	担当	④
島貫忠典	副主査	④
畠山知広	主任	④

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

【事業管理者】

国立大学法人岩手大学

(経理担当者) 研究交流部研究協力課外部資金管理グループ 主査 下屋敷 司

(業務管理者) 工学部マテリアル工学科 教授 平塚 貞人

【再委託先】

日本砥研株式会社

(経理担当者) 総務部 小林 溶子

(業務管理者) 代表取締役社長 小田 昭浩

株式会社ナニワ炉機研究所

(経理担当者) 総務部 村田 牧子

(業務管理者) 専務取締役 村田 博敏

株式会社根岸工業所

(経理担当者) 経理担当 梅田 紋子

(業務管理者) 代表取締役社長 佐藤 輝貴

有限会社及春鋳造所

(経理担当者) 総務部 村上 一美

(業務管理者) 取締役専務 及川 春樹

奥州市鑄物技術交流センター

(経理担当者) 主任

(業務管理者) 所長

中山 雅彦

福島 真里

株式会社日ピス福島製造所

(経理担当者) 主任

(業務管理者) グループリーダー

千葉 浩喜

佐藤 英樹

(4) 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

研究推進会議 委員

氏名	所属・役職	備考
平塚貞人	国立大学法人岩手大学工学部マテリアル工学科・教授	PL
堀江皓	国立大学法人岩手大学工学部附属鑄造技術研究センター・特任教授	
小綿利憲	国立大学法人岩手大学技術部・工学系第一技術室・技術室長	
佐藤暢子	国立大学法人岩手大学地域連携推進センター・准教授	
佐藤庄一	株式会社根岸工業所・代表取締役会長	SL 委
佐藤輝貴	株式会社根岸工業所・代表取締役社長	委
小田昭浩	日本砥研株式会社・代表取締役社長	委
村田博敏	株式会社ナニワ炉機研究所・専務取締役	
立入勝啓	株式会社ナニワ炉機研究所・取締役技術部長	
及川貢基	有限会社及春鑄造所・取締役社長	
及川春樹	有限会社及春鑄造所・取締役専務	委
佐藤英樹	株式会社日ピス福島製造所 生産技術第三部・グループリーダー	
米倉勇雄	奥州市鑄物技術交流センター・副所長	
中山雅彦	奥州市鑄物技術交流センター・主任	
山口泰文	株式会社小松製作所 生産本部生産技術開発センター 素材 G 鑄造 T・副主事	アドバイザー
平野秀樹	株式会社豊田自動織機 エンジン事業部 生産技術部 鑄造事業再整備プロジェクト・MS	アドバイザー
木口昭二	近畿大学 理工学部 機械工学科・教授	アドバイザー
井田民男	近畿大学 理工学部 機械工学科・准教授	アドバイザー
安保繁	オフィス安保・代表	アドバイザー
勝負澤善行	国立大学法人岩手大学工学部附属鑄造技術研究センター・特任教授	アドバイザー

(アドバイザーの主な指導・協力事項)

氏名	主な指導・協力事項
山口泰文	鑄鉄の高強度化に関する製造技術の助言・協力
平野秀樹	バイオコークスの特性を検討する点で助言・協力
木口昭二	鑄鉄の耐摩耗性向上に関する助言・協力
井田民男	バイオコークスの材質と製造に関する助言・協力
安保繁	バイオコークスの特性を検討する点で助言・協力
勝負澤善行	鑄鉄の高機能化に関する製造技術の助言・協力

1.3 研究開発成果概要

① 高性能鋳物用バイオコークスの開発（鋳鉄溶解用バイオコークス製造技術の高度化）

（日本礫研株式会社、株式会社ナニワ炉機研究所、国立大学法人岩手大学）

りんご搾りかす、もみ殻、稲わらから作成したバイオコークスは、成型条件が確立されていないため、圧縮強度不足や小さいもの（φ 8以下）しか製造できない課題を有する。さらに、バイオコークスの成分や鋳鉄の性状に及ぼす影響が解明されておらず、鋳鉄溶解専用のバイオコークスの製造技術が確立されていない。

本研究開発では、導入する大型バイオコークス成型装置を用いて調達した原料バイオマスごと乾燥時間、粉碎時間、添加物配合割合、成型温度を変えてバイオコークスの試作を行い、各条件により作成したバイオコークスの圧縮強度を測定し、鋳鉄溶解用としての最適条件を確立する。さらに、小型キュボラ炉を用い鋳鉄の性状に及ぼすバイオコークスの配合割合の影響を調べる。

初年度（平成23年度）は、りんご搾りかす、もみ殻、稲わら、リンゴ剪定枝等各種バイオマス原料の成分分析等による最適な原料選定条件を確立するための基礎実験として、各種バイオマス単体または混合物を原料として、小型バイオコークス成形装置を用いてバイオコークスを作成し、成分分析ならびに冷間圧縮強度測定を行った結果、冷間圧縮強度が 10MPa 以上となる製造条件を確立した。また、ベントナイトを添加剤とした小型バイオコークスについての予備実験を行い、冷間圧縮強度が 10MPa 以上となる製造条件を確立し、その添加量が冷間圧縮強度に与える効果についての知見を得た。また H23 年度導入した大型バイオコークス成型装置を用いてバイオコークスの試作を実施した。

平成24年度は、平成23年度に株式会社ナニワ炉機研究所で設計・製作を行った大型バイオコークス成型装置を日本礫研株式会社に設置し、最適なバイオマス原料（りんご搾りかす）で大型バイオコークス成型装置を用いて鋳鉄溶解専用のバイオコークスを試作し、製品長さ 900mm のバイオコークスにおいて製品の上部・中間部・下部において、比重のばらつきがなく連続成形でも冷間圧縮強度 10MPa 以上を維持する製造条件を確立した。またバイオコークスにベントナイトを添加し、大型バイオコークス成型装置を用いて試作を行い、冷間圧縮強度が 10MPa 以上となる製造条件を確立し、その添加量が冷間圧縮強度に与える効果についての知見を得た。

最終年度（平成25年度）は、平成24年度試作したバイオコークスの複合化条件をさらに検証し、冷間圧縮強度が 15MPa 以上となるための製造条件を確立させる。また試作したバイオコークスと複合化バイオコークスのキュボラ溶解試験を共同体研究機関と実施する事を目標とした。

そのため、添加剤の混合割合、バイオマス原料の含水率および、複合化バイオコークスを成型する際の成型温度に着目し、下記試験を実施した。

- (1) 添加剤の混合割合別に成型を実施し、複合化バイオコークスの比重と冷間圧縮強度を確認した。
- (2) バイオマスの含水率別原料と添加剤を混合した後、原料投入口から投入を行い、成型温度を2種類（低温・高温）で複合化バイオコークスの成型を実施し、複合化バイオコークスの比重と冷間圧縮強度を確認した。

また、共同体研究機関に、複合化バイオコークスを提供する為、投入ホッパーからバイオマスと添加剤を混合した原料を投入し、1週間以上の連続生産の確認を行うため、ロングラン試験を行い、各ロットでの比重と冷間圧縮強度を確認した。

試験での添加剤はベントナイトと消石灰の2種類で試験を行った。その結果、ベントナイトおよび消石灰で成型した複合化バイオコークスで、冷間圧縮強度が 15MPa 以上となる製造条件を確立し、製造能力を確認した。

② バイオ燃料キュボラ溶湯による軽量高強度鋳鉄の開発（鋳鉄製厨房品の高度化）

（有限会社及春鋳造所、国立大学法人岩手大学、奥州市鋳物交流センター）

高齢化社会における安心・安全で質の高い生活の実現に向けて、軽量で安全な厨房品が求められている。これまでの高硫黄（S）キュボラ溶湯では、薄肉化するとチルが発生して厨房品が割れるという問題が起こった。本研究開発では、小型キュボラ（0.7トン）においてバイオコークスによる代替を図り低コスト鋳造法を確立するとともに、この低硫黄キュボラ溶湯を用いることで、低S（シーズ2）とC量、Si量の適正バランス（シーズ4）等の新しいシーズの組み合わせで従来4～5mmの肉厚を3mm以下とする薄肉強靱な軽量厨房製品の製造技術の確立を図る。

初年度（平成23年度）は、バイオコークスを使用した小型キュボラ（0.7トン）溶解技術の確立の基礎データを得るため、バイオコークス代替比率を0%での温度変化、溶湯成分変化を測定し、溶解最適化検証の基礎研究を行った。

その結果、小型キュボラ（0.7トン）では、出湯口が時間によって変わるため、溶湯の温度変化が大きい事、操業時間内のCE値、C(%)量、Si(%)量、P(%)量、S(%)量は安定しておりMn(%)量は最初の出湯時は低いが、炉鉢から湯を出し切った後は上昇している事を確認した。また採取した階段状試験片の肉厚3mm、6mm、9mm、12mmの組織写真から、黒鉛形状は、A型黒鉛であるがC型（粗大）黒鉛やバラ状黒鉛も見られる事が分かった。

平成24年度は、バイオコークス代替比率を20%へ段階的に上昇させた場合の溶解最適化を検証し、硫黄量の低下に対するMn量の配合割合、C量、Si量の適正量を調べ、薄肉強靱な軽量厨房製品の製造技術を検証する事を目標とした。バイオコークス代替比率を20%、30%、40%での温度変化、溶湯成分変化を測定し、バイオコークス添加しての溶解検証の実験を実施した。その結果、概ね溶湯の温度は通常操業と同等であり、操業時間内のCE値、C(%)量、Si(%)量、P(%)量、は安定している事が確認でき、若干のS(%)量の低下がみられた。また薄肉強靱な軽量厨房製品の製造のためのバイオ燃料キュボラ溶湯による鋳造品の機械的性質を調査した。

最終年度（平成25年度）は、複合化バイオコークスを使用しておこなった。複合化バイオコークスは2種類あり一つはバイオコークスにベントナイトを3%添加したもの、もう一つは消石灰を3%添加したものをを使用した。代替率20%、30%では概ね安定した操業であったため40%添加での実験を行った。複合化バイオコークス代替比率40%で行う場合の溶解最適化を検証し、硫黄量の低下に対するMn量の配合割合、C量、Si量の適正量を調べ、薄肉強靱な軽量厨房製品の製造技術を検証する事を目標とした。各複合化バイオコークスでの温度変化、溶湯成分変化を測定し、バイオコークス添加しての溶解検証の実験を実施した。その結果、概ね溶湯の温度は通常操業と同等であり、操業時間内のCE値、C(%)量、Si(%)量、は安定している事が確認でき、若干のS(%)量の低下がみられた、P(%)量はバイオコークス添加比率が増加すると共に増加傾向がみられた。また薄肉強靱な軽量厨房製品の試作をバイオ燃料キュボラ溶湯により行った。

③ バイオ燃料キュボラ溶湯による高強度鋳鉄の開発（鋳鉄製ハブの高度化）

（株式会社根岸工業所、国立大学法人岩手大学、奥州市鋳物交流センター）

建設機械用ハブの引張強さは250MPaで、基地組織にフェライトの発生や高S量による黒鉛形状のばらつきがあり、問題となっている。また、現状ではこれらの部品は切削工程も多く、高強度でも切削性の良い（快削性）鋳鉄が望まれている。

本研究開発では、中型キュボラ（2トン）においてバイオコークスによる代替を図り低コスト鋳造法を確立するとともに、この低硫黄キュボラ溶湯を用いることで、高Mn鋳鉄（シーズ1）、低S（シーズ2）とチル低減のためのアルカリ土類元素添加（シーズ3）による溶湯処理と組み合わせることで300MPaを超える引張強さを有する高強度鋳鉄製ハブの高度化を図る。

初年度（平成23年度）は、バイオコークスを使用した中型キュボラ（2トン）溶解技術確立の基礎データを得るため、バイオコークス代替比率を0%での温度変化、溶湯成分変化を測定し、溶解最適化検証の基礎研究を行った。

キュボラ操業の現状把握として出湯から約2時間の出湯温度および溶湯のチル深さ、化学成分、機械的性質について調査を実施した。出湯温度については出湯から15分後に1495℃になり、60分経過後でピークの1531℃に到達し、その後は1500℃以上を維持しているとの結果が得られ、化学成分分析においては、初湯のCとSiは高めになっているが、その後は比較的安定している事が分かった。機械的性質試験からは、時間の経過と共に強度が増す傾向が確認できた。

平成24年度は、バイオコークス代替比率を10%へ段階的に上昇させ、さらにキュボラへの送風に関し除湿、流量制御により炉内温度（溶解温度）を上昇させるために除湿風量制御装置を設置し、気温、湿度、風量、風圧を変動させた場合の溶解温度変化、溶湯成分変化から溶解の安定化・最適化を検証する事を目的とした。バイオコークス比率を20%まで段階的に上昇させ、溶解最適化検証を行った。その結果バイオコークス15%までの代替試験においては、出湯温度については1500℃以上を維持して、温度低下は見られなかった。バイオコークス20%代替試験においては、いくぶん温度の低下が認められたが、溶湯成分においてはチル深さに大きな変化が見られなかったため、バイオコークスの20%装入によつての成分への変化はないと思われる。化学成分においてはS量の減少が見られた。また除湿装置・風量制御装置の設備を導入し、気温、湿度、風量風圧の変動等の諸条件による温度変化、溶湯成分変化を測定した結果、出湯温度のバラツキ、総コークス比が改善される事が確認された。

最終年度（平成25年度）は、バイオコークス比率をさらに30%へ段階的に上昇させた場合の溶解最適化と複合化バイオコークスの代替え試験を実施し溶解最適化を検証し、Mn量、C量等の適正量を把握し、鑄鉄製ハブを含めた建設機械部品の高強度化技術、高切削性技術を確立して引張強さ300MPaを満たす鑄鉄製建設機械部品の試作のための製造技術を確立する。また外部燃焼式熱風発生装置導入によりキュボラへの熱風を付加した場合の温度変化、溶湯成分変化を測定して溶解最適化を検証する事を目標とした。

バイオコークス代替比率30%への段階的な上昇において、除湿装置稼働でのコークス代替率20%溶解試験では出湯温度1481℃まで低下したため追加コークスを実施し温度の回復を図った。化学成分・機械的性質においては大きな変化は見られなかった。湿式集塵機からの回収飛散物については代替率向上により飛散量が増加する傾向が見られた。溶解量については代替率向上にあわせて溶解量が多くなり温度も低下し、C、Siの低下に繋がっていると思われ、追加コークス無しでの20%代替は困難であろうということが確認できた。

複合化バイオコークス代替試験においては、従来の20%代替試験よりも複合化バイオコークスの方が出湯温度の最低温度も高く、温度低下の幅も少なかった。

鑄鉄製ハブを含めた高強度鑄鉄の開発においては引張強さ目標値300MPaに対し実体強度で323MPa、切削性7.3%向上という結果が得られた。

外部燃焼式熱風発生装置導入による溶解最適化の検証においては、キュボラへ安定して熱風を送り込むことを確認したが、バイオコークスを用いた熱風操業においては出湯温度が低下する傾向が見られ、石炭コークスの代替効果が得られなかった。要因として送風中の酸素濃度が溶解安定性に影響を及ぼすことが確認できた。

④ バイオ燃料キュボラ溶湯による高耐摩耗鑄鉄の開発（鑄鉄製ライナーの高度化）

（株式会社日ピス福島製造所、国立大学法人岩手大学）

ディーゼルエンジン用ライナーは、熱衝撃特性向上のためCu、Mo、B等の元素が多く含有されており、かつ黒鉛量も非常に多いため引張強度は230MPaと低いので、エンジンの高出力化に伴い、引張強度の向上が課題である。

本研究開発ではバイオコークスを用いた低硫黄キュボラ溶湯を用いることで、低硫黄と高Mn溶湯の鑄鉄組成の組み合わせによりMnSを晶出させて耐摩耗性を向上させ、注湯温度と冷却速度

を制御して高強度化と耐摩耗性に優れた鑄鉄製ディーゼルエンジン用ライナーを開発する。

初年度（平成23年度）は、バイオコークスを使用した大型キューボラ（6トン）溶解技術の確立の基礎データを得るため、バイオコークス代替比率を0%での温度変化、溶湯成分変化を測定し、溶解最適化検証の基礎研究として、出湯開始から約12分毎（出湯約1t毎）に出湯温度（浸漬型温度計）、C.E値（C.Eメータ）、成分（発光分光分析）試験を実施した結果、操業開始直後の出湯温度は平均1560℃程であり、その後平均1540℃程で安定し、C値はコークスからの加炭性に大きく影響を受けることから出湯温度と連動して変化し、S値については概ね0.06～0.11%で推移することを把握した。

平成24年度は、バイオコークス比率を10%から15%へと段階的に上昇させた場合の温度変化、湯成分変化を測定するとともに操業において運用上の問題が生じないかの確認を行った。また、高耐摩耗鑄鉄ライナーの開発においては試作品を製作し、エンジン試験による評価を行った。

上記研究活動により以下の結論を得た

① バイオコークス代替比率を0%→10%→15%と変化させた結果

・出湯温度と元湯C.E値に大きな変化はなく。出湯温度は概ね1530～1560℃、元湯C.E値は概ね3.90～4.10%にて推移した。

・鑄込み材の成分ではT.C値の平均値は3.10～3.20%で大きく変化はしないが、バラツキが1/3程度に小さくなった。S値については平均値およびバラツキともに変化は観察されなかった。

② 高耐摩耗鑄鉄ライナーの試作品の製作、評価を行った結果

・引張強度300MPa以上、硬さHRB105程度、磨耗量現行材比60～70%のものが得られた。

最終年度（平成25年度）は複合化バイオコークス代替試験を行った場合の溶湯性状変化及び設備面への影響度確認を実施した。その結果、複合化バイオコークス投入後、出湯温度の上昇が確認された。実操業で使用する場合は、熱量換算値の見直しとキューボラ操業条件の制御を必要である事が判明した。硫黄量について石炭コークス使用時と比較して0.03%の低減が確認された。その他、化学成分の変化は確認されなかった。設備面に対しても、懸念していた熱交換器内部の閉塞、煙の発生による作業環境悪化は改善された。開発材について、低硫黄溶湯に対し基地強化元素を適量添加させることにより、引張強度305MPa、硬度105MPaと目標とする機械的性質が得られた。更なる摩耗性向上が求められ、今回の開発を基礎研究とし今後も継続的に材料開発を進めていく。

1.4 当該研究開発の連絡窓口

（経理担当者） 研究交流部研究協力課外部資金管理グループ 主査 下屋敷 司

019-621-6874

（業務管理者） 工学部マテリアル工学科

教授 平塚 真人

019-621-6369

第 2 章 本論

2.1 高性能鋳物用バイオコークスの開発（鋳鉄溶解用バイオコークス製造技術の高度化）

（日本砥研株式会社、株式会社ナニワ炉機研究所、国立大学法人岩手大学）

2.1.1 研究開発の概要及び研究の目的

りんご搾りかす、もみ殻、稲わらから作成したバイオコークスは、成型条件が確立されていないため、圧縮強度不足や小さいもの（ $\phi 8$ 以下）しか製造できないということが問題となっている。さらに、バイオコークスの成分や鋳鉄の性状に及ぼす影響が調査されておらず、鋳鉄溶解専用のバイオコークスの製造には至っていない。本研究開発では、導入する大型バイオコークス成型装置を用いて調達した原料バイオマスごとに乾燥時間、粉碎時間、添加物配合割合、成型温度を変えて試作を行い、各条件により作成したバイオコークスの圧縮強度を測定し、鋳鉄溶解用としての最適条件を確立する。さらに、キュポラ炉を用い鋳鉄の性状に及ぼすバイオコークスの配合割合の影響を調べる。

2.1.2 研究開発内容

2.1.2.1 複合化バイオコークスの成型条件の確立

- (1) りんご搾りかすを原料とし、ベントナイトおよび、消石灰を添加剤とした複合化バイオコークスを製造した。その際、添加剤の最適な量を調査するため、添加量別で成型した複合化バイオコークスの比重および冷間圧縮強度の調査を行い、最適な添加量の調査を行った。
- (2) りんご搾りかすの含水率とバイオコークスの成型温度の影響を調査するたためりんご搾りかすの含水率別および成型温度別で成型し、それらの比重と冷間圧縮強度を調査し、成型条件を確立した。
- (3) りんご搾りかすを原料とし、ベントナイトおよび消石灰を添加剤とした複合化バイオコークスの連続成型を調査するためロングラン試験を行い、各ロットでの比重および冷間圧縮強度の確認を行った。

2.1.3 研究結果

2.1.3.1 ベントナイトを添加した複合化バイオコークスの成型条件確立

(1) ベントナイト最適量の確認

ベントナイトを 0wt%から 10wt%で混合し試験を行った結果、ベントナイトを添加剤とした場合、ベントナイトを添加するほど比重は大きくなるが、冷間圧縮強度が最も高い添加量は 3wt%程度のときであることが分かった。この結果から、ベントナイトを添加剤とした複合化バイオコークスの添加量を 3wt%と設定した。

(2) ベントナイトを添加した場合の成型温度および原料含水率の影響確認

原料の含水率と成型温度別で成型した複合化バイオコークス（ベントナイト）の比重および冷間圧縮強度の測定結果、冷間圧縮強度は含水率が高くなると、低下し、含水率が 10%以上になると冷間圧縮強度は 15MPa 以下となる。また成型温度は反応をよくするため、高温に設定するとよいことが分かった。この結果より、成型温度を 150℃、原料の含水率を 10%以下とした。

(3) ベントナイトを添加した場合のロングラン試験

設定した成型条件で安定した連続成型ができるか確認を行うため、ベントナイトを 3wt%添加した複合化バイオコークスのロングラン試験を行い、ロット別に比重および冷間圧縮強度を測定した。また、複合化バイオコークスの含水率の測定を行った。その結果、りんご搾りかすにベントナイト粉末を添加した複合化バイオコークスの比重は、1.45 付近で安定してい

るが、冷間圧縮強度は 15MPa 以下となるものが見られた。これは、原料の含水率にばらつきがあり、含水率が9%以上あれば、冷間圧縮強度は 15MPa以下となっていることが確認された。この結果、原料の含水率は 9%以下である必要があることが分かった。

これら試験の結果、ベントナイトを添加剤とした複合化バイオコークスの成型条件は以下のようにすることが最適であることが分かった。

表 1 ベントナイト粉末添加の成型条件

成型温度	150℃
原料の含水率	9%以下
添加剤の量	3 wt%

※りんご搾りかすのとき

2.1.3.2 消石灰を添加した複合化バイオコークスの成型条件確立

(1) 消石灰最適量の確認

消石灰を添加量別に成型した複合化バイオコークスの比重および冷間圧縮強度の結果、消石灰を添加剤とした場合、比重は 1.42～1.48 で大きな違いはみられないが、冷間圧縮強度は添加量 3wt%から低下傾向がみられ、7wt%で急激に低下する。また、もっとも高い冷間圧縮強度となるのは添加量が 1wt%のときであることが分かった。この結果から、消石灰を添加剤とした複合化バイオコークスの添加量を 1wt%と設定した。

(2) 消石灰を添加した場合の成型温度および原料含水率の影響確認

原料の含水率と成型温度別で成型した複合化バイオコークス（消石灰）の比重および冷間圧縮強度の結果、りんごかすに消石灰粉末を添加した複合化バイオコークスは、含水率が高くなると比重・冷間圧縮強度は低下する。

成型温度は反応をよくするため、高温に設定するとよい。また、成型温度 150℃、含水率 7%以下にすると冷間圧縮強度は 15MPa 以上となる。

この結果より、成型温度を 150℃、原料の含水率を 7%以下とした。

(3) 消石灰を添加した場合のロングラン試験

設定した成型条件で安定した連続成型ができるか確認を行うため、複合化バイオコークス（消石灰）のロングラン試験を行い、ロット別に比重および冷間圧縮強度を測定した。その結果、りんご搾りかすに消石灰粉末を添加した複合化バイオコークスの比重は、1.45 付近で安定している。冷間圧縮強度も 30MPa 以上であった。

これら試験の結果、消石灰を添加剤とした複合化バイオコークスの成型条件は以下のようにすることが最適であることが分かった。

表 2 消石灰粉末添加の成型条件

成型温度	150℃
原料の含水率	7%以下
添加剤の量	1 wt%

※りんご搾りかすのとき

2.1.3.3 複合化バイオコークスの生産能力

本研究で設定した成型条件での生産能力は次のようになった。

表 3 バイオマス固形燃料製造設備の生産能力

	項目	計画	実績 1 りんごかすのみ	実績 2 複合化バイオコークス
1	反応容器数	1 本	1 本	1 本
2	製品直径	100mm	100mm	100mm
3	製作長さ	600mm	900mm	650mm
4	1 サイクル当たりの生産重量	6kg	10kg	7kg
5	製作時間	80 分	90 分	90 分
6	作業可能時間	24 時間(無人)	24 時間(無人)	24 時間(無人)
7	1 日の生産重量	108kg/日	160kg/日	112kg/日
8	15 日/月の生産能力	1620kg/月	2400kg/月	1680kg/月

生産能力はりんご搾りかすのみの場合、計画より大幅な改善(計画比 148%)が得られ、複合化バイオコークスでほぼ同等(計画比 103%)の結果が得られた。

2.1.5 本年度のまとめ

鑄鉄溶解専用のバイオコークスとするため、ベントナイトおよび消石灰を加えたバイオコークス複合化を行い、冷間圧縮強度が 15MPa 以上となるための成型条件を確立した。

2.1.6 総括

初年度(平成 23 年度)は、りんご搾りかす、もみ殻、稲わら、リンゴ剪定枝等各種バイオマス原料の成分分析等による最適な原料選定条件を確立するための基礎実験として、各種バイオマス単体または混合物を原料として、小型バイオコークス成型装置を用いてバイオコークスを作成し、成分分析ならびに冷間圧縮強度測定を行った結果、冷間圧縮強度が 10MPa 以上となる製造条件を確立した。

平成 24 年度は、平成 23 年度に株式会社ナニワ炉機研究所で設計・製作を行った大型バイオコークス成型装置を日本砥研株式会社に設置し、最適なバイオマス原料(りんご搾りかす)で大型バイオコークス成型装置を用いて鑄鉄溶解専用のバイオコークスを試作し、製品長さ 900mm のバイオコークスにおいて製品の上部・中間部・下部において、比重のばらつきがなく連続成形でも冷間圧縮強度 10MPa 以上を維持する製造条件を確立した。またバイオコークスにベントナイトを添加し、大型バイオコークス成型装置を用いて試作を行い、冷間圧縮強度が 10MPa 以上となる製造条件を確立し、その添加量が冷間圧縮強度に与える効果についての知見を得た。

平成 25 年度は、原料の含水率、成型条件、添加剤の添加量に着目し、試作・評価を行った結果、それらの冷間圧縮強度に与える効果についての知見を得た。また、連続成形でも冷間圧縮強度 15MPa 以上を維持する鑄鉄溶解専用の複合化バイオコークスの成型条件を確立し、設置した大型バイオコークス成型装置での生産能力を確認した。

本研究により、最適なバイオマス原料(りんご搾りかす)を用いて鑄鉄溶解専用の複合化バイオコークスの成型条件が確立した。

また、地域循環型・地域還元を目標に、北東北に豊富にあるバイオマスの有効利用を目的としたバイオマス活用技術の委託業務、バイオマス乾燥処理業務、バイオマス燃料の製造プラント設計・管理・販売、バイオコークス製造販売を行う青森バイオ技研株式会社を青森県黒石市に設立した。カーボンニュートラルな燃料であるバイオコークスに加え、石炭コークスに対して高付加価値で優位に立つ複合化バイオコークスによって事業を軌道に乗せる可能性を見出した。

今後は、りんご搾りかすのみならず、他の植物由来バイオマスを原料とした高付加価値を有するバイオコークスの開発が今後の課題となっている。

2.2 バイオ燃料キュポラ溶湯による軽量高強度鋳鉄の開発（鋳鉄製厨房品の高度化） （有限会社及春鋳造所、国立大学法人岩手大学、奥州市鋳物交流センター）

2.2.1 研究開発の概要及び研究の目的

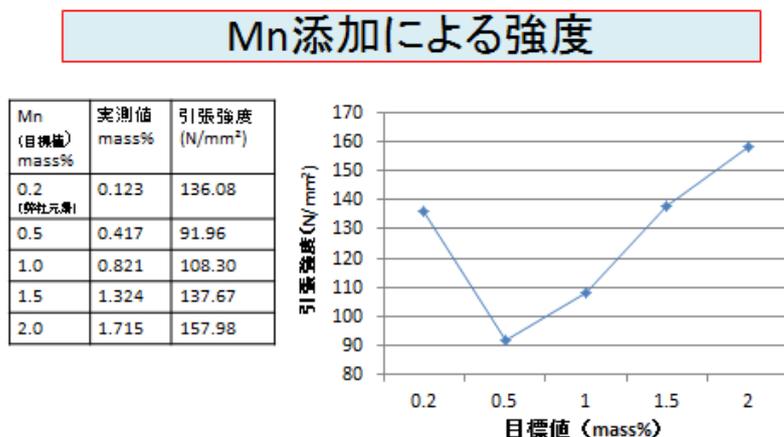
高齢化社会における安心・安全で質の高い生活の実現に向けて、軽量で安全な厨房品が求められている。これまでの高硫黄（S）キュポラ溶湯では、薄肉化するとチルが発生して厨房品が割れるという問題が起こった。本研究開発では、小型キュポラ（0.7トン）においてバイオコークスによる代替を図り低コスト鋳造法を確立するとともに、この低硫黄キュポラ溶湯を用いることで、低S（シーズ2）とC量、Si量の適正バランス（シーズ4）等の新しいシーズの組み合わせで従来4～5mmの肉厚を3mm以下とする薄肉強靱な軽量厨房製品の製造技術の確立を図る。

2.2.2 研究開発内容

最終年度（平成25年度）は、複合化バイオコークスによる代替試験を実施し、溶湯温度と成分について検証する。またMn量、C量、Si量の適正量を確立して、肉厚を3mmでもチルがない鋳鉄製厨房品を開発する事を目標とした。平成25年度は、複合化バイオコークスを使用しておこなった。複合化バイオコークスは2種類あり一つはバイオコークスにベントナイトを3%添加したもの、もう一つは消石灰を3%添加したものを使用した。代替率20%、30%では概ね安定した操業であったため40%添加での実験を行った。

2.2.3 研究成果

複合化バイオコークス代替比率40%で行う場合の溶解最適化を検証し、硫黄量の低下に対するMn量の配合割合、C量、Si量の適正量を調べ、薄肉強靱な軽量厨房製品の製造技術を検証する事を目標とした。各複合化バイオコークスでの温度変化、溶湯成分変化を測定し、バイオコークス添加しての溶解検証の実験を実施した。その結果、概ね溶湯の温度は通常操業と同等であり、操業時間内のCE値、C(%)量、Si(%)量、は安定している事が確認でき、若干のS(%)量の低下がみられた、P(%)量はバイオコークス添加比率が増加すると共に増加傾向がみられた。また薄肉強靱な軽量厨房製品の試作をバイオ燃料キュポラ溶湯により行った。Mn量については0.5%を境に引張強度で上昇傾向が見られ2.0%で最大となった。



Mn添加試験では1.0%を境に上昇傾向が見られた。

図1 Mn量添加による引張強度の変化

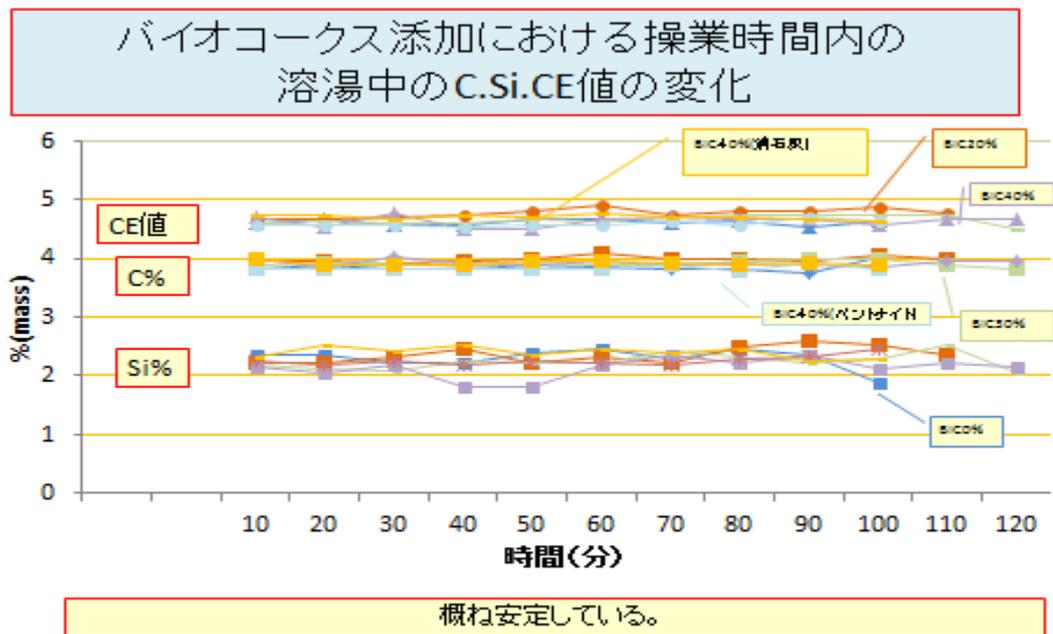


図2 バイオコークス添加における作業時間内の溶湯中のC、Si、CE値の変化
作業時間内の溶湯中のC、Si、CE値も概ね安定していた。

本研究成果による試作品も作成した。

本事業成果による試作品	
弊社通常品	本研究による試作品
重量 3000g 平均肉厚4.5mm	重量2500g 平均肉厚3.0mm 20%の軽量化

図3 本事業成果による試作品

2.2.4 総括

バイオコークス代替率を 0%, 20%, 30%, 40%で行い 40%試験では複合バイオコークス（ベントナイト 3%、消石灰 3%）も使用した。弊社製品への注湯を行い大きな不良も無かった。

溶解温度では溶解時期、気象条件など外部因子の影響を受けるが概ね通常操業と同等の結果であった。

BIC20%の操業では高い数値が出た。

C.Si.CE 値については安定している。

Mn については複合 BIC で低く推移した。

S については BIC 添加量増加に伴い低下傾向が見られた。

P では BIC 添加率増加と共に増加傾向が見られた。

微量元素（ $\Sigma A1$ ）の総和は BIC 添加率増加に伴い低下傾向が見られた。

理論引張強さ（ σB ）と実際の引張強さ（ σt ）及び成熟度では過共晶組織であるため大きな数値がでたが通常と同等の結果だった。

比較硬さ（RH）は BIC 添加率増加と共に良好な数値となった。

スラグ（ノロ）は BIC 添加率増加と共に除滓が困難で塩基度が上がると溶湯中の S % が下がっていた。

溶解操業では BIC の添加量が増加するほど、溶解中の火の粉の飛散量は増加した。複合 BIC（ベントナイト）では飛散抑制の効果が見られた。

研究成果により試作品が出来た。

2.3 バイオ燃料キュポラ溶湯による高強度鋳鉄の開発（鋳鉄製ハブの高度化）

（株式会社根岸工業所、国立大学法人岩手大学、奥州市鋳物交流センター）

2.3.1 研究開発の概要及び研究の目的

建設機械用ハブの引張強さは 250MPa で、基地組織にフェライトの発生や高 S 量による黒鉛形状のばらつきがあり、問題となっている。また、現状ではこれらの部品は切削工程も多く、高強度でも切削性の良い（快削性）鋳鉄が望まれている。

本研究開発では、中型キュポラ（2トン）においてバイオコークスによる代替を図り低コスト鋳造法を確立するとともに、この低硫黄キュポラ溶湯を用いることで、高 Mn 鋳鉄（シーズ1）、低 S（シーズ2）とチル低減のためのアルカリ土類元素添加（シーズ3）による溶湯処理と組み合わせることで300MPaを超える引張強さを有する高強度鋳鉄製ハブの高度化を図る。

2.3.2 研究開発内容

2.3.2.1 バイオコークス代替比率 20%での溶解最適化検証

(1) 除湿装置稼働でのバイオコークス代替率 20%の溶解試験

試験の概要

コークス平準化装入で除湿装置を稼働させての操業の2時間でコークス装入量の20%をバイオコークス（重量比で1.67倍）に代替し、出湯温度を10分間隔で出湯樋上で測定し、バイオコークス代替装入前後の変化を調査した。

溶湯の性状については、AMFラインへの搬送取鍋の3鍋に1鍋の割合で試料に鋳造し、チル深さ、化学成分、機械的性質についてバイオコークス代替装入前後の変化を調査した。また炉頂湿式集塵装置から回収して飛散バイオコークス量の調査を行った。

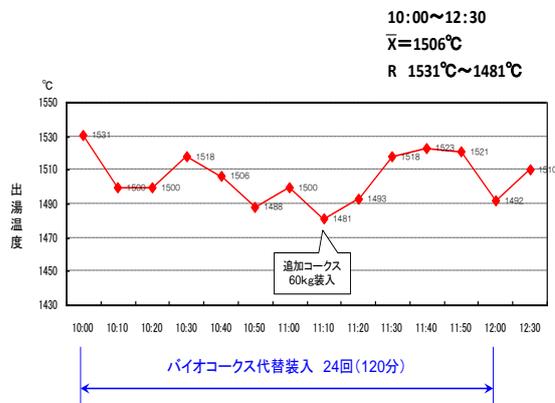


図1 出湯温度

図1に出湯温度を示す。出湯温度が1481°Cまで下がったため追加コークスを実施し温度の回復を図った。

(2) 複合化バイオコークス代替率 20%の溶解試験

試験の概要

コークス平準化装入操業の中で1回のコークス装入量に対し20%を複合バイオコークスに代替し、2時間装入し溶解試験を行い以下項目について調査を行った。

使用複合バイオコークス・・・消石灰1%添加品

装入重量・・・カロリー換算で1.67倍×消石灰添加量1.01倍

試験項目・・・出湯温度、溶湯のチル深さ、溶湯の化学成分、溶解量、飛散バイオコークス量

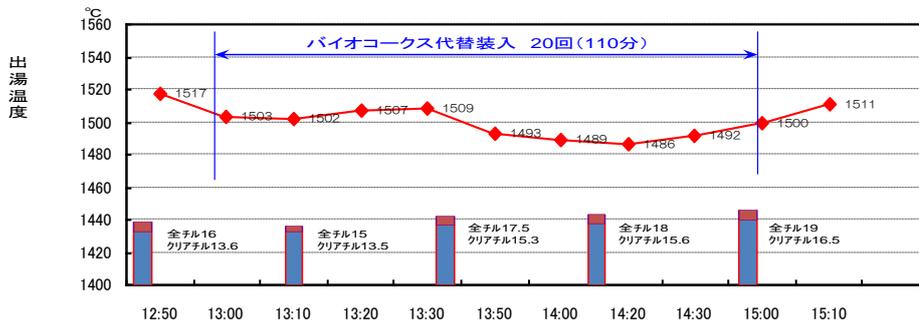


図2 出湯温度とチル深さ

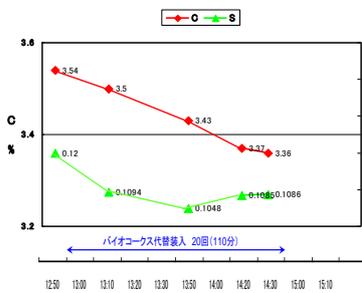


図3 化学成分 (C、S)

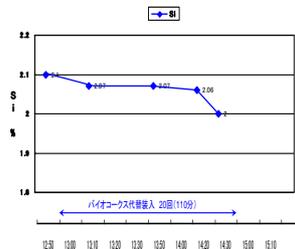


図4 化学成分 (Si)

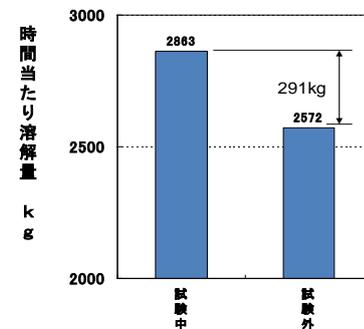


図5 試験時間帯の溶解量

図2に出湯温度とチル深さを示す。バイオコクス装入から75分で最低の1486°Cを記録し、チル深さもそれに合わせて多少深くなった。図3,4に化学成分を示す。出湯温度の低下に合わせてC、Sの低下が見られた。Sは最大0.0152%低下した。図5に試験時間帯の溶解量を示す。試験中の時間当たりの溶解量が試験時間外と比べ291kg増加した。また飛散したバイオコクスの量が30分間で5.8kgと20%代替での過去の平均(4.11kg)より多めであった。

2.3.2.2 バイオコクスキュボラ溶湯による高強度鋳鉄の開発

(1) 試験の概要

バイオコクス代替溶解での高強度溶湯と通常溶湯をそれぞれ建設機械用ハブに鋳込み、そのハブを旋盤にて機械加工しその時の主軸にかかる負荷値を読み取り加工性の検証を行った。

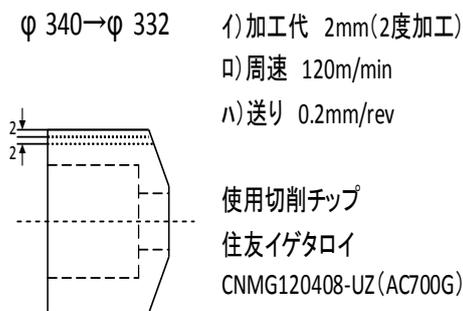


図6 素材形状と切削条件

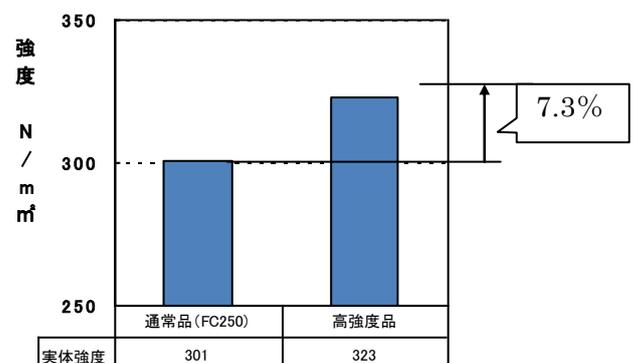


図7 実体強度

負荷値においては通常品と高強度品ともに同数値であった。図 7 に実体強度を示す。通常品の引張強度 301MPa に対し 323 MPa と 7.3%加工性が向上した。

2.3.2.3 外部燃焼式熱風発生装置導入による溶解最適化の検証

(1) 概要及び研究目的

外部燃焼式熱風発生装置導入によりキュポラへの熱風を付加した場合の温度変化、溶湯成分変化を測定して溶解最適化を検証した。

キュポラの操業条件は通常通り行い、操業が安定し送風量が通常の $35\text{m}^3/\text{min}$ になった時点で燃焼ガスの混入を開始した。その結果熱風を供給した時点で風箱風圧が上昇し、送風量が $18\text{m}^3/\text{min}$ 低下し出湯温度も 50°C 低下した。この結果をふまえてバイオコークス中に含まれる水分の影響について検証した。

(2) 試験の概要

上記結果をもとにバイオコークス中の水分がキュポラ内でのコークス燃焼に与える影響について調べるため、乾燥した木炭を熱風発生装置で燃焼し熱風を発生させた。

表 1 冷風時と熱風時の出湯温度と出湯 C、Si % の平均値比較

燃料		出湯温度 ($^\circ\text{C}$)	出湯 C (%)	出湯 Si (%)
バイオコークス	冷風時	1525	3.46	1.95
	熱風時	1490	3.42	1.72
乾燥木炭	冷風時	1510	3.56	1.75
	熱風時	1485	3.51	1.73

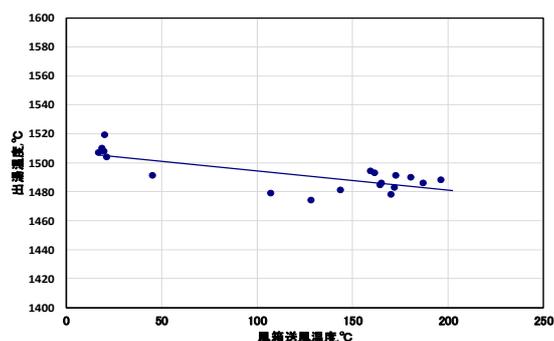


図 8 風箱送風温度と出湯温度の関係

バイオコークスと乾燥木炭を燃焼させた場合の出湯温度と出湯成分を比較すると、表 1 に示すように水分の多いバイオコークスを燃焼させた場合は出湯温度が平均値で 35°C 低下し、乾燥木炭でも 25°C 低下した。この結果より送風湿度 $11.2\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ の差による出湯温度への影響は 10°C であった。乾燥木炭を使用し、送風中の絶対湿度が大気と大差がない条件でも、図 8 で示す送風温度と出湯温度との関係に見られるように送風温度による効果が得られなかったのはバイオコークス中の水分による影響以外にコークスの燃焼に影響を及ぼす要因が考えられる。バイオコークスを用いた熱風操業において出湯温度に低下傾向が見られたため、石炭コークスの代替効果が得られなかった要因として、バイオコークス中の水分が影響するのではなく、送風中の酸素濃度が溶解安定性に影響を与えることがわかった。

2.3.3 研究成果

除湿装置稼働でのバイオコークス代替率 20% の溶解試験においては、出湯温度の低下もあり追加コークスを実施し温度の回復を図った。その他のチル深さ、化学成分、機械的性質については大きな変化は見られなかった。複合化バイオコークス 20% 代替試験においては、従来の 20% 代替試験より出湯温度の最低温度も高く、出湯温度の低下幅も少なかった。飛散物については今までの代替試験の結果からバラつきはあるものの代替率の向上に伴い飛散量が多くなる傾向が見られた。また溶解量については代替率向上にあわせて溶解量が増加し、温度低下、C、Si の低下に繋がっていると思われ、追加コークス無しでの 20% 代替は困難と思われる。今後は除湿風量制御装置との組み合わせ

わせ等も検討し、継続研究として目標達成に向け取り組みを行う。

外部熱風発生装置を設置し、キュボラへ安定して熱風を送り込むことを確認した。バイオコークスを用いた熱風操業において出湯温度に低下傾向が見られ、石炭コークスの代替効果が得られなかった。本状況の要因として、バイオコークス中の水分が影響するのではなく、送風中の酸素濃度が溶解安定性に影響を与えることが確認できた。通常操業の酸素濃度を保つことで石炭コークス代替が可能になると考えられることから今後継続研究としてさらに検証していく。

建設機械用ハブの高強度化、高切削性の確立においては、引張強度 323MPa と目標値を達成したが、切削性では 7.3%の向上であった。

2.3.4 総括

2.3.4.1 三年間の研究開発成果および課題

(1) バイオコークス代替溶解試験

代替率 15%までは出湯温度の低下もなく溶解可能であるが、20%以上では出湯温度、CE値の低下が大きくなり、同時に溶解量、飛散量の増加が見られた。ただし複合化バイオコークスの方が出湯温度に対する低下割合も少なく、複合化バイオコークス（ベントナイト）を用いて除湿装置を稼働させることにより代替率 20%で出湯温度の低下もなく溶解可能であった。今後複合化バイオコークスと熱風発生装置、除湿装置との組み合わせ等で今後の継続研究とし、目標達成に向け取り組みを行う。

(2) 除湿風量制御装置の溶解に対する安定化・最適化の検証

除湿風量制御装置稼働によって1日の出湯温度の推移は 1500°C以上をキープし、尚且つ平均出湯温度で 22°C上昇しバラつきも 22°C少なくなった。またコークス比も 0.1%減少し、1時間当りの出湯量も 246kg 増加し、C、Siの変動も少なくなり安定した操業が可能となった。代替試験での稼働効果も表れており継続研究として代替率の目標達成に向けた取り組みを行う。

(3) バイオコークスキュボラ溶解による高強度鋳鉄の開発

建設機械用ハブの高強度化、高切削性の確立においては、引張強度 323MPa と目標値を達成したが、切削性では 7.3%の向上であった。

2.3.4.2 事業化展開

平成 26 年度は本研究を通し課題として残った高強度ハブの切削性向上の検証を継続研究として行いながら建設機械メーカーへの提案ならびに試作サンプルを提出し評価を得る。また本研究で得た技術を建設機械のみならず幅広い産業機械部品へ水平展開していき、平成 29 年度には製品として 30 t を目標に商品化、販売開始を目指す。

2.4 バイオ燃料キュポラ溶湯による高耐摩耗鋳鉄の開発（鋳鉄製ライナーの高度化）
 （株式会社日ピス福島製造所、国立大学法人岩手大学）

2.4.1 研究開発の概要及び研究の目的

ディーゼルエンジン用ライナーは、熱衝撃特性向上のためCu、Mo、B等の元素が多く含有されており、かつ黒鉛量も非常に多いため引張強度は230MPaと低いので、エンジンの高出力化に伴い、引張強度の向上が課題である。

本研究開発ではバイオコークスを用いた低硫黄キュポラ溶湯を用いることで、低硫黄と高Mn溶湯の鋳鉄組成の組み合わせによりMnSを晶出させて耐摩耗性を向上させ、注湯温度と冷却速度を制御して高強度化と耐摩耗性に優れた鋳鉄製ディーゼルエンジン用ライナーを開発する。

2.4.2 研究開発内容

2.4.2.1 複合化バイオコークス（ベントナイト）代替試験方法

6t/h熱風水冷式キュポラに対して複合化バイオコークスを15%代替した場合の溶湯性状（温度、化学成分）変化及び設備（特にキュポラ熱交換器）への影響を確認する。溶解量約12t（作業時間にして約2時間）試験を行った。代替量については現行石炭コークスの15%にあたる量を複合化バイオコークスで代替することとした。この場合、石炭コークスと比較してバイオコークスの熱量を60%と換算し複合化バイオコークスの重量を決めた。出湯温度、熱風温度、排ガス温度、の変化を当該溶湯が出湯完了するまで記録した。溶湯化学成分については、接種処理後、発光分光分析により確認した。また、設備面への影響も目視にて確認を行った。

2.4.2.2 高強度・高耐摩耗鋳鉄の開発について

現在、現行ディーゼルエンジン用シリンダライナ材（以下現行材）の強度向上及び耐磨耗性向上をメーカーより要求されている。今回、低硫黄溶湯及び基地強化元素添加により強度及び耐磨耗性向上を図る。

2.4.3 研究成果

2.4.3.1 複合化バイオコークス（ベントナイト）代替試験結果

① 出湯温度

複合化バイオコークス15%代替した場合、当該溶湯が出湯され始めた頃から急激な温度上昇が見られた（図1）。石炭コークスの計量値に大きなバラツキは無く、キュポラ操作条件についても通常操作と変わらなかった。このことから、複合化バイオコークスの影響による温度上昇と断定できる。これまで、バイオコークスを代替する場合に熱量換算を60%として試験を行っていたが、複合化バイオコークスでは、その熱量が通常バイオコークスの場合と比較して高く、

温度上昇を促したものと推測する。従って、バイオコークス複合化により、比重・強度が向上し石炭コークスに近いものに品質が向上しているものと言える。実操作でバイオコークスを代替する場合、適正な熱量換算値を見極める必要があると共に、キュポラ操作条件の制御についても最適条件を見極める必要がある。

② 炭素量（TC値）

複合化バイオコークス代替試験

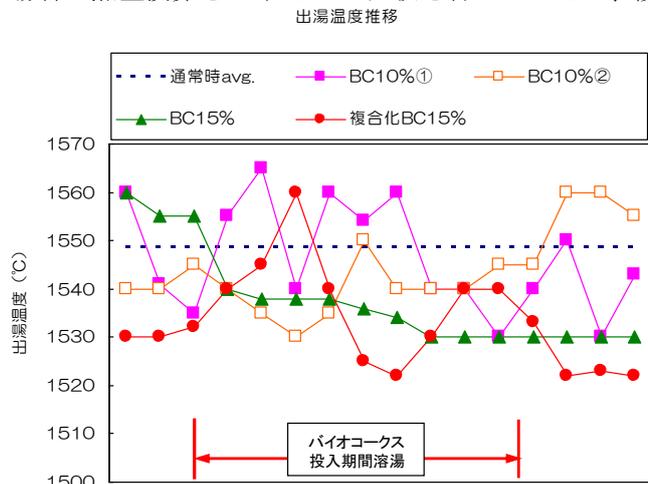


図1 出湯温度推移

時の溶湯炭素量狙い値が材質調整の関係から 3.4%付近が平均値となっている(図2)。これまでの試験からバイオコークス代替比率が上昇すると共に、炭素量のバラツキが少なくなる傾向に対し、複合化バイオコークス代替時は同様の傾向が見られなかった。これは、出湯温度変化に伴う変化が影響しており、今後試験を重ねバラツキについて精査する必要がある。

③硫黄量(S値)

平均値をみるとバイオコークス代替比率が増加するにつれ、10%代替で 0.01%、15%代替で 0.02%、複合化バイオコークス 15%代替で 0.03%の硫黄量低下が確認された(図3)。いずれの場合においてもバラツキは大きく、さらに代替試験を重ねデータの信頼性を高める必要がある。

④キューボラ設備への影響について

通常バイオコークス 15%代替試験時に熱交換器内部の閉塞や排熱ダクトの継ぎ目からの煙の発生が確認され、15%代替が設備管理上、また作業環境面からも難しい状況にあった。複合化バイオコークス代替試験時についても煙の発生、熱交換器の閉塞を注視したが、ベントナイト添加による強度・比重向上のためか、煙の発生は無く、熱交換器内部の閉塞も通常石炭コークス操業時と差異はなかった。

2.4.3.2 高強度・高耐摩耗鑄鉄の開発結果

①開発材の化学成分

硫黄値は現行材をベースにバイオコークス代替比率 15%時を想定した 0.06%に設定し、さらに基地強化元素を適量添加した。

②引張強度

図4に現行材と開発材の引張試験結果を示す。引張試験はφ20引張試験用シェル型に鑄込んだ丸棒を加工し試験を行った。目標の270MPaに対して、305MPaと目標を上回る強度が得られた。これは、基地強化元素添加によるパーライト層間隔の緻密化によるものである。

③硬度

図5に現行材と開発材の硬度測定結果を示す。目標の100HRBに対して105HRBと

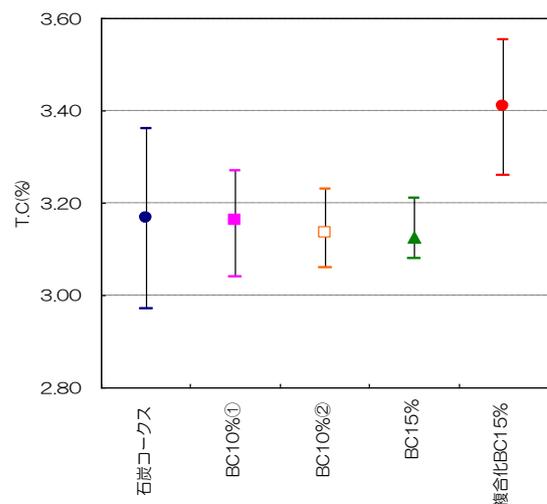


図2 炭素量の平均値とバラツキ

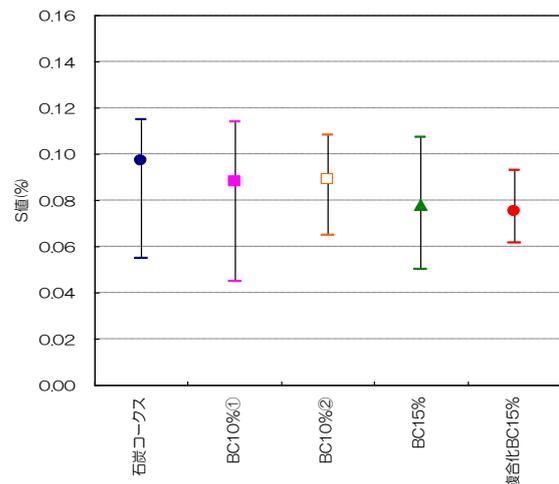


図3. 硫黄量の平均値とバラツキ

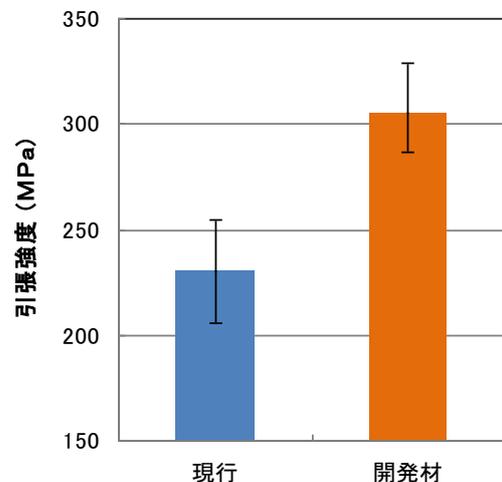


図4. 現行材と開発材の引張強度比較

硬さ向上が図れた。一般的に硬さと摩耗特性は比例関係にあり、硬さ向上は摩耗特性に大きく寄与する。今回の試験では基地強化元素を添加することにより、パーライト層間隔を緻密化させ、基地中セメント量を増加に成功したことで目標とする硬度が得られた。

⑤ 摩耗特性

現在、試作ライナ材をエンジン実機に搭載し、摩耗性評価を実施している。メーカーからは、更なる摩耗性向上が求められており、今後も開発を進める。

2.4.4 まとめ

複合化バイオコークス 15%代替試験を行った結果以下の結果が得られた。

- ・投入後出湯温度の上昇が確認され、実操業での使用の場合熱量換算値の見直し及びキュボラ操業条件の制御が必要となる。
- ・硫黄量は通常石炭コークス使用時と比較して 0.03%の低減が図れた。
- ・通常バイオコークス 15%代替時に確認されたキュボラ熱交換器内部の閉塞が複合化バイオコークス 15%代替時は改善された。

低硫黄溶湯及び基地強化元素の添加により下記に示す材料開発に成功した。

- ・基地強化元素添加により引張強度は現行材 240MPa に対して、305MPa と強度向上が図れた。
- ・基地強化元素添加により硬度が 105HRB と目標とする硬度向上が図れた。

2.4.5 総括

バイオコークス代替試験をこれまで実施してきた結果、キュボラの細かな制御は一部必要とするものの実操業でも充分使用可能であることを確認できた。また、狙いとして掲げていた硫黄量低減も図れた。特に複合化バイオコークスを使用した場合において、硫黄量低減が顕著に確認された。また、通常バイオコークス代替使用時に課題としていた、熱交換器の閉塞も複合化バイオコークスを使用した場合、改善がみられた。複合化することによる強度・比重の向上が要因と考えられる。今後は、更に試験を重ね、バイオコークス投入量の見極め（熱量換算値の見直し）を実施する。また、バイオコークスを使用する場合の最適なキュボラ操業条件の見極めについても併せて実施する。硫黄量の低減についても、n 増しテストでより信頼性のあるデータとしていく必要がある。

開発材については、試行錯誤していく中で基地強化を図ることにより目標とする機械的特性が得られた。今回開発された試作品をエンジンに搭載し摩耗性評価をするまでに至った。今後は、強度を今回開発材の数値を維持しながら、摩耗性に大きく寄与する炭化物の硬さ向上を図る。

3年間のバイオコークス代替試験により、溶湯性状変化や設備面への影響等、基礎研究として大変有意義な事業となった。何より、バイオ燃料を使用することで環境に対して大きなメリットがあることから今後も積極的に研究を進める。

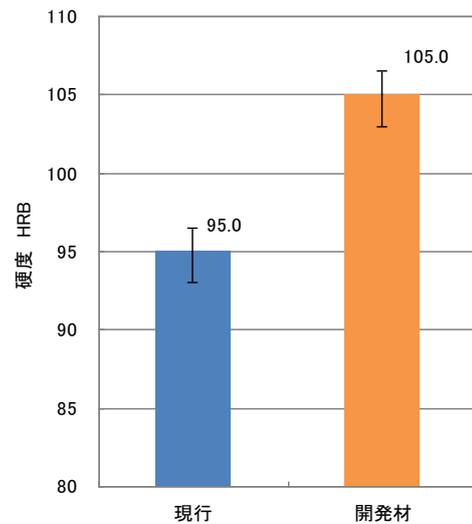


図5. 現行材と開発材の硬度比較

最終章 全体総括

鑄鉄を溶解するキュボラでは、主に中国産の石炭コークスを使用している。現在、その石炭コークスは、価格高騰や硫黄含有量の多い粗悪品が増えるなど問題となっている。また、化石燃料消費に伴うCO₂排出が、地球環境保全に対し問題となり温室効果ガス削減へ強いニーズがあった。

本研究開発では、燃焼により発生するCO₂が、植物由来のためカーボンニュートラルにより排出量としてカウントされない優位性をもつ鑄造用バイオコークスの製造技術の開発と、さらにバイオコークスを用いたキュボラ溶解による低コスト鑄造法を確立し、自動車や建設機械分野へ貢献する硫黄フリーバイオコークスによる優れた溶湯性状を生かした片状黒鉛鑄鉄の薄肉・高強度化、耐摩耗性と切削性向上を目指した技術開発を行った。

本プロジェクトの成果として、高性能鑄物用バイオコークスの開発（鑄鉄溶解用バイオコークス製造技術の高度化）では、バイオコークス成型装置を用いて、りんごの絞りかすを原料したバイオマスごとに乾燥時間、粉碎時間、添加物配合割合、成型温度を変えてバイオコークスの試作を行い、鑄鉄溶解用としての最適条件を確立することができた。さらに、ベントナイトおよび消石灰で成型した複合化バイオコークスで、冷間圧縮強度が15MPa以上となる製造条件を確立し、鑄物用バイオコークスの製造が可能になった。

バイオ燃料キュボラ溶湯による軽量高強度鑄鉄の開発（鑄鉄製厨房品の高度化）では、0.7トン小型キュボラによりバイオコークスを用いた優れた溶湯性状を生かした鑄鉄により軽量高強度鑄鉄鍋を試作することが出来た。

バイオ燃料キュボラ溶湯による高強度鑄鉄の開発（鑄鉄製ハブの高度化）では、2トン中型キュボラによりバイオコークスを用いた優れた溶湯性状を生かした鑄鉄により建設機械用鑄鉄製ハブを試作することが出来た。

バイオ燃料キュボラ溶湯による高耐摩耗鑄鉄の開発（鑄鉄製ライナーの高度化）では、6トン大型キュボラによりバイオコークスを用いた優れた溶湯性状を生かした鑄鉄により自動車用鑄鉄製ライナーの製造に成功した。

この鑄物用バイオコークスを用いてキュボラの燃料として使用されている石炭コークスのバイオコークス代替率について、豊田自動織機より発表されている代替率11.4%を超える代替率（15～40%）を達成した。

さらに、バイオコークスを用いた鑄鉄溶湯は、鑄鉄の材質に悪影響を及ぼす硫黄が少ない優れた特性の溶湯であることが明らかになった。また、鑄鉄溶湯の炭素、けい素、マンガン量を制御して、さらに接種による最適な溶湯処理技術で鑄鉄の高強度化が可能となった。

3年間の事業で、全ての企業において、バイオコークスを用いたキュボラ溶解による低コスト鑄造法確立と高機能鑄鉄部材製造技術を開発することができた。本研究は基礎的研究や試作の部分もあるが、本研究の成果は近い将来事業化に向けての応用研究に適用を予定しており、さらに地域への波及効果も充分期待できるものと考えている。