

未利用森林資源を起源とするハイブリット型 木質バイオコークスの開発

報告者 理工学部機械工学科 講師 井田民男
共同研究者 理工学部機械工学科 教授 木口昭二
理工学部機械工学科 講師 湊端 学

1. 背景

本研究基盤は、研究代表者が出願している国内・国際特許（PCT/JP2005/880→PCT/JP2006/300985）によるバイオマスの低温半炭化前反応を利用した革新的なバイオマスの固形化さらにはコークス化技術に基づいており、このため世界に類を見ない。この超硬度な固形化技術（鉄の 2 倍を超える圧縮強度を実現）は、木質系バイオマスだけでなく、光合成に起因する全バイオマスを対象にできる可能性を秘めており、バイオマス利用のオプションを大きく広げるものである。ここでは、バイオマスを 1 次エネルギーとして、今までに提案されていない鉄鋼溶解エネルギーとして利用し、環境特に、CO₂ の実質的な削減の実現に向けた提案を行う。

現在、1 次エネルギー資源である石炭は、年間 5,000 万トン消費する基盤エネルギーで安定供給が望まれるが、中国政府のエネルギー政策から急激に高騰し、石炭（12 千円/安定期の 2 倍強）、石炭コークス（60 千円/安定期の 3 倍強）にも達しており、このことは国内の鉄鋼産業に大きな打撃となっている。経済産業省は、コークス用石炭について安定供給のために緊急措置として石油石炭税の免除を実施している。（H17-19 年度租税特別措置法：減税見込：2,923 百万円）

さらに、石炭コークス国内最大消費ユーザである、新日鉄株でも来年度の原料費が 3,100 億円上昇すると予測しており、そのダンピングを販売価格に上乗せし解消できるものと経営方針を立てている。さらに、林業全盛期から減衰の一途を辿っている国内林業は、近年バイオマスとしての観点から環境資源としての注目を浴びているが、地理的な制約から決定的な利活用の道が見えない状況にある。

環境面については、京都議定書での約束事項である CO₂ 削減への貢献としては、化石燃料の代替燃料として期待される場所であるが、1 次エネルギー代替燃料としてのポテンシャルは未だ見出されていない状況にある。COP3 以降、バイオマスのエネルギーとしての研究開発は、2005 年「バイオマスエネルギーのロードマップ」では、ガス化、液化が主流であり、固形燃料としての用途はペレットストーブなどの小規模利用に限られている。さら

に、バイオマスからの 2 次エネルギー利用としては、燃焼により得られた熱エネルギーを蒸気に変換し、電気・熱として利用されるのが常識とされている。

本研究では、木材系残渣であるオガクズ、樹皮等、農業系残渣である果樹剪定材、籾殻、オカラ、芋つる等、さらには地域の社会整備から切り出される街路樹の剪定材、河川敷きの雑草、天災による被害材など、生活廃棄としては厨芥等、あらゆる場面で処分に苦慮している光合成に起因するバイオマスを資源対象とする。簡易に入手可能な最大手のバイオマス資源は、飲料関連産業から排出される厨芥と思われる。この資源は、常堆肥に転換されている。この資源をコークス化できれば、入手も簡便で常に原料が安定供給でき、有効資源量を大幅に確保できることになる。

2. 目的・意図と開発目標

2.1 開発の目的

未利用森林資源を活用した高硬度な固形燃料（ここでは、木質バイオコークスと呼ぶ）を開発し、林業活性を核とした鉄鋼分野を支援するエネルギーシステムを構築することを目的とする。石炭コークスは、高炉あるいは鋳物工場で利用されている産業用の固体燃料である。石炭コークス代替燃料の開発は、二酸化炭素排出削減に対して大きな効果が期待できると同時に、未利用森林資源の有効な活路になり得る。製鉄分野における大量化石燃料消費を代替できる新しい分野への活路を見出す。

本研究では、未処分の樹皮や小径木、さらに果樹剪定材を代替石炭コークスとしての木質バイオコークスに変換する製造手法を開発する。鉄鋼分野で木質バイオマスを利用することの意義を説明する。木質バイオマスを電力分野に利用することは、既に取り組みされており、多くの成果が挙がりつつある。また、電力分野では、持続可能な再生可能エネルギーとして太陽電池発電システムや風力発電、地熱発電等、多くのオプションが検討されているのに対し、鉄鋼分野では、主力エネルギーである石炭コークスから代替できる再生可能エネルギーへの有効なオプションが見当たらないのが実状である。

さらに、木質バイオマスを電力分野で活用する時に求められる特性と鉄鋼分野で求められる特性が大きく異なる。すなわち、電力分野では、「微粉化や酸化雰囲気でのガス化特性」が必要とされているのに対し、鉄鋼分野では、「硬度な固形化や還元雰囲気でのガス化特性」が必要とされている。しかし、生木質バイオマスを加工することなしに活用することは、過酷な製鉄プロセスの環境において無謀なことであり、旧の木炭を活用することは、高度化した鉄鋼プロセスの要求を満たすことはできない。

ここで提案するのは高硬度な固形燃料へと加工し、耐荷重—耐高温特性を向上する技術開発である。以上の研究開発を基に、初期目標として鉄鋼分野での石炭コークスの代替 1% を達成し、経済効果（6 万円/ton：石炭コークス）として 300 億円/年の経済効果を林業から得ることとする。

2.2 開発の意図

基本的な高硬度固形燃料の製造方法については、国内・国際特許（PCT/JP2005/880→PCT/JP2006/300985）で出願の通り、知見を得ている。高炉という厳しい熱環境で役割を果たす高硬度かつ高温燃焼特性に優れたバイオマス固形燃料の製造技術を開発する点において、本技術開発のポイントは、以下のとおりである。

- ①初期硬度の向上については、樹皮のフェノール系樹脂成分と幹部のリグニンの反応活性を活用し、樹皮部の熱可塑性の樹脂成分をリグニン分子内に取り込み熱硬化性の重合ポリマーへと変換する手法を開発。
- ②高温燃焼特性を向上させるために、固形燃料内部への酸素の拡散を遅らせる目的で、初期充填した木粉を固有振動で励起し、粒子間密度の向上を図る。
- ③本技術は、低温半炭化前反応を駆使しており、木質バイオマスの木粉化の度合いが、固形燃料の半炭化度に影響を与えるため、木質成分の超粉化特性を図る。

2.3 開発目標

対象とする低温半炭化前反応技術を用いた高硬度な固形燃料製造に関する技術は、我が国及び海外で類をみない技術であり、近畿大学が大阪 TLO より国内・国際特許（PCT/JP2005/880→PCT/JP2006/300985）出願を申請中である。この新規のアイデアによる本事業の開発目標は次のとおりである。

- ①鉄鋼分野で石炭コークスは、5,000 万トン/年を消費しており、その 1%を代替できる木質バイオコークスを開発・生産できる技術を開発する。このことにより、CO₂ 換算で 162 万トン、国内総排出量の 0.12%を木質バイオマス由来の CO₂ に転換できる。CO₂ 問題とは別に環境全般において次のような効用を得ることを目標としている。
- ②林業の活性化により、林業分野での雇用の促進を図る。
- ③未利用森林資源をターゲットにしているため、間伐材などの有効利用が促進され、スギ花粉などを低減する。

2.4 開発要素技術

対象とする低温半炭化前反応を用いた高硬度な固形燃料製造技術に関する技術開発要素と本事業で行う開発の関係は次のとおりである。

- ①高炉投入時に破壊を起こさないような常温での硬度の向上
- ②高炉での中段階における還元剤としての還元雰囲気化でのガス化特性の解明
- ③高炉での最終段階における高温燃焼特性の向上
- ④木質バイオマスからの高硬度固形燃料の大量生産方法の開発

2.5 必要性

本技術開発の必要性は次のとおりである。開発技術の費用対効果、CO₂ 削減ポテンシャル

などから、その必要性は極めて大きい。

- ①石炭コークスを代替できる可能性のある木質バイオコークスを開発することで、エネルギー起源 CO₂ を木質バイオマス起源の CO₂ に転換できる。
- ②石炭コークスが中国の石炭輸出規制により、3 倍程度に高騰し、未利用森林資源による固形燃料を開発することにより、安価な 1 次エネルギーを確保することができる。
- ③ 1 次エネルギーをほぼ 100%海外からの輸入に依存している我が国で国産エネルギーの活路を見出すことができ、さらに余剰の固形燃料を輸出することも可能となる。

2.5 緊急性

本技術開発の緊急性は次のとおりであり、木質バイオマスを資源とする木質バイオコークスを高炉に用いる耐熱・耐圧課題と大量生産方法について技術開発でブレイクスルーできれば、実用化に目途がつくことから、早期に実施すべきである。

- ①石炭コークスの価格急騰
- ②林業の長期低迷により活力の減衰
- ③国産 1 次エネルギーの安定確保
- ④放棄林などによる林地不整備によるスギ花粉の増加
- ⑤京都議定書の目標に対する具体的手法の導入

2.6 新規性・先駆性

本研究では、木質バイオマスによる高硬度固形燃料の製造方法についての国内・国際特許 (PCT/JP2005/880→PCT/JP2006/300985) 出願を大阪 TLO より申請している。

- ①現状では、鉄鋼分野での本格的な石炭コークスへの代替燃料としての木質バイオマスの利用はほとんどないものと考えている。
- ②鉄鋼分野での木質バイオマスを利用することの新規性を説明する。木質バイオマスを電力分野に利用することは、既に取り組みされており、多くの成果が挙がりつつある。また、電力分野では、持続可能な再生可能エネルギーとして太陽電池発電システムや風力発電、地熱発電等、多くのオプションが検討されているのに対し、鉄鋼分野では、主力エネルギーである石炭コークスから代替できる再生可能エネルギーへの有効なオプションが見当たらないのが実状である。
- ③本研究の独自性は、木質バイオマスの低温半炭化前反応を見出すことにより、質量減少することになしに、高硬度な固形燃料を作り出すことができたことである。現状で 100MPa の圧縮最高強度を有しており、これは鉄鋼材料に匹敵している。
- ④通常省エネ技術の開発と比べて優れている点は、本技術指針が省エネルギーではなく、代替燃料としての位置づけが可能なところである。
- ⑤本技術では、低温半炭化前反応の特性より木質バイオマスの樹皮の部分が、高硬度な固形燃料を製造するのに適しており、未利用の森林資源を活用することが可能となる。

⑥本技術では、木質バイオマスを木粉化するため、林業では価値のない広範囲の未利用森林資源を活用することが可能となる。

3. 研究組織

近畿大学での開発体制開発代表者：井田 民男（近畿大学・理工学部・講師）

①木質バイオコークスの高硬度固形燃料の開発

①-1：工学的手法を応用した高硬度化燃料の開発

井田 民男（近畿大学・理工学部・講師）

中西亜貴夫（近畿大学大学院総合理工学研究科・博士研究員）

①-2：高硬度化燃料の燃焼特性解明

湊端 学（近畿大学・理工学部・講師）

武田 修子（近畿大学大学院総合理工学研究科・メカニクス系工学専攻）

①-3：高硬度化燃料の鋳物製造への適応性とその問題点の抽出

井田 民男（近畿大学・理工学部・講師）

山口 泰文（近畿大学大学院総合理工学研究科・メカニクス系工学専攻）

村田 悦夫（㈱ナニワ炉機研究所・代表取締役）・・・実証試験（鋳造キュポラ操業で実施協力）

バイオマスエネルギー収集システム協力体制

和歌山県庁、和歌山県龍神村森林組合、和歌山県森林組合連合会御坊事業所、和歌山県西牟婁郡森林組合田辺共販所この3事業所で和歌山県の90%以上を取り扱っており、樹皮などの未利用資源を供給協力。

4. 研究方法

図1に本研究の位置づけを示す。

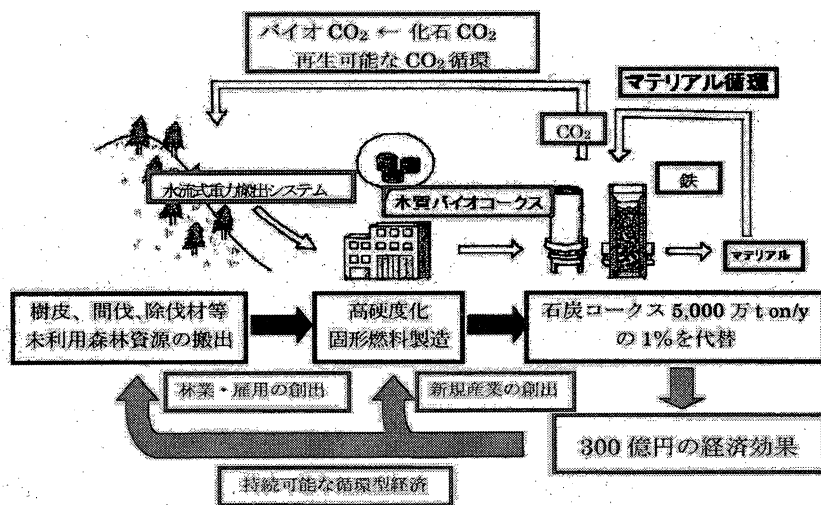


図1 木質バイオコークス（代替・石炭コークス）により林業分野と鉄鋼分野が抱える課題を同時解決し、かつ地球環境保全を推進するフローチャート

図 1 に見られる社会的な貢献を実現化するバイオコークスの原理について述べる。図 2 にバイオマスの主成分であるセルロース、ヘミセルロース、リグニンの生化学的な性質を示す。これらの性質をホットプレス法により、図 3 でイメージした固形化を行う。

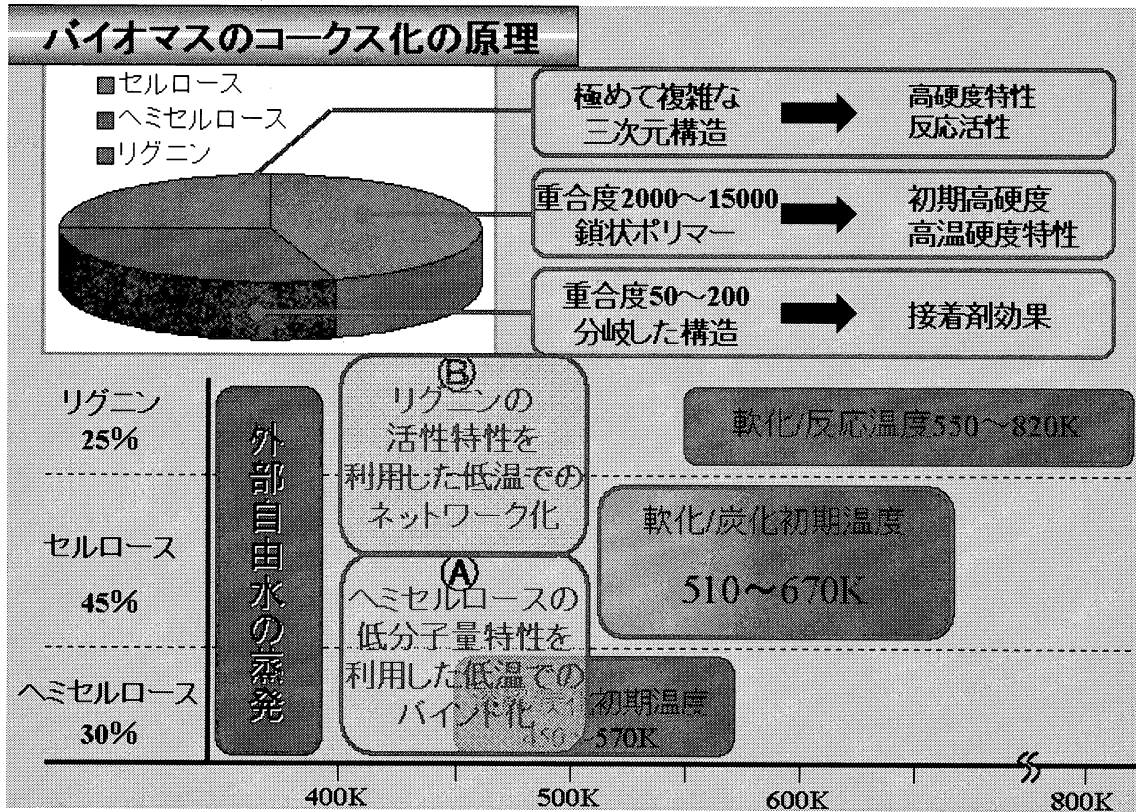


図 2 バイオマス 3 主成分の生化学的な性質

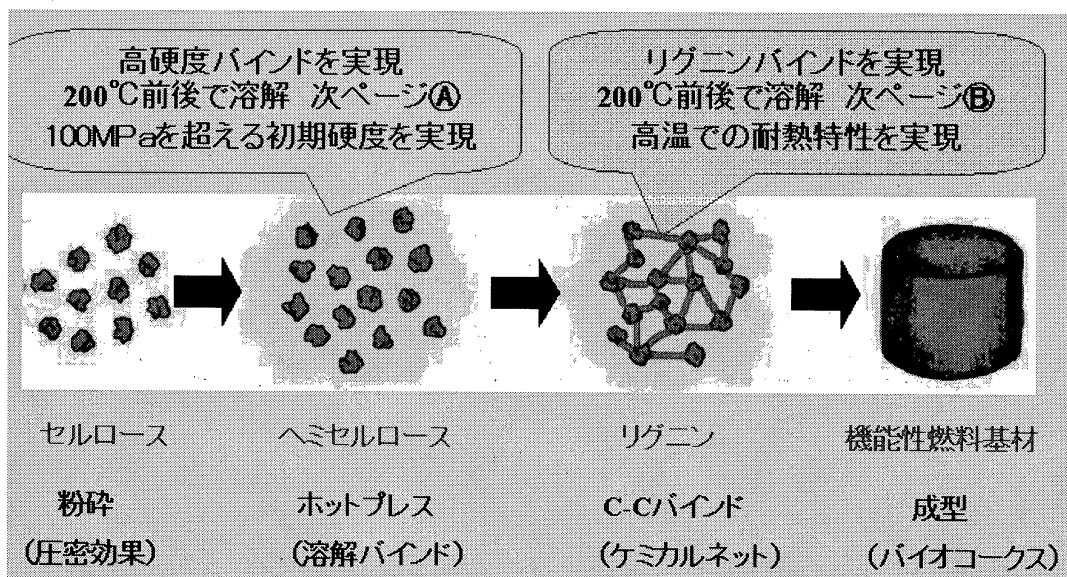


図 3 バイオコークス固形化のイメージ

5. 研究成果

5.1 物理的特性の成果

表 1 にバイオコークスの物理特性と特徴を示す。

表 1 バイオコークスの物理特性と特徴

物理的性状	数値データ
製造時の重量（炭素）収率	ほぼ 100%
化学的結合水を機能発現に制御	
従来の炭化ではなく、バイオマスの新機能を発現	
発熱量	約 5,000kcal/kg
炉内で炭化が進行するに従い、8,000kcal/kg 相当に	
1000℃付近での高温特性を実現	
見かけ比重	1.2-1.38
木質の真比重 1.4 に限りなく漸近	
内部空隙ゼロに漸近	

5.2 材料特性の成果

表 2 にバイオコークスの材料特性と特徴を示す。

表 2 バイオコークスの材料特性と特徴

材料特性	数値データ
初期強度 最高圧縮強度	100-200MPa
炉内投入時/積層時に破壊しない強度を実現	
200MPa を超えることも可能	
サイズ	基本型・円柱；高さはフレキシブル
鑄造キュボラ用 φ50～φ100mm、φ250 開発中	
鉄鋼高炉用 φ30～φ60mm	
成型時間	実質加熱時間 15-20 分程度
極めて短時間でバイオマスのコークス化が可能	

5.3 小型キュボラによる石炭コークス代替実証試験

(株)ナニワ炉機研究所の所有の小型キュボラ試験機（国内唯一）を用い、石炭代替実証試験を行った。キュボラの仕様は次の通りである。

炉内径 300mm、有効高さ 1800mm、羽口から炉底までの深さ 300mm

羽口数 6 本、羽口比 6、羽口内径 50mm、送風 冷風 コークス比 20%

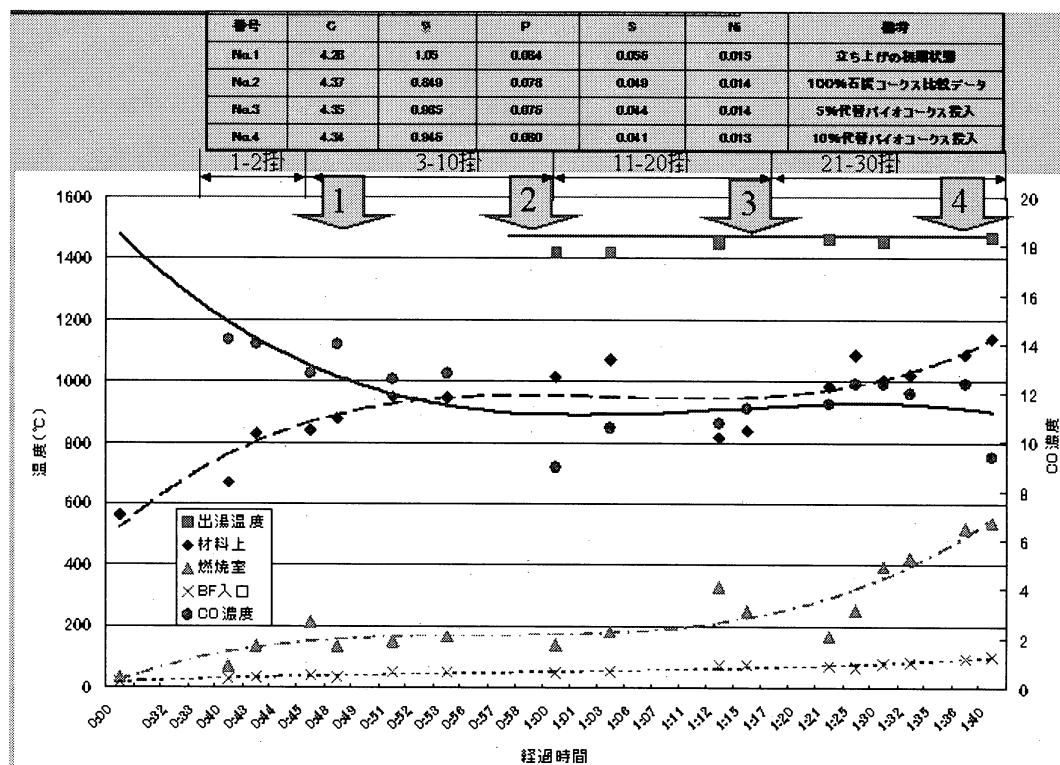


図 4 溶解実験による時間列データ

図 4 に小型キュボラを用いた石炭コークス代替率 10%時のキュボラ操業時系列データとそのバイオコークス投入及び溶解データを示す。本データより次のことが分かった。

操業状態について

石炭コークス代替 10%以下では、石炭コークスと比して遜色なく操業できることを実証した。

操業状況について

溶解鉄鋼の温度、キュボラ内の CO 濃度を石炭コークスと同等の値を保つことができた。

含有元素分析について

溶解後のデータとして石炭コークス 100%で溶解された鉄鋼との比較分析を行い、S 分の若干の減少傾向などからバイオコークス代替の影響が確認できた。

6. 今後の展開

今後の展開を項目ごとに述べる。

6.1 バイオコークス代替実証試験に関する実施

大型キュボラ対応 φ250mm のバイオコークスの開発と実証試験の計画

6.2 鉄鋼用高炉バイオコークス開発に係る開発

高炉用 超高硬度／高炭素含有バイオコークスの開発

最高圧縮強度 200MPa 以上／炭素重量割合 70%以上＋発熱量 7,000kcal/kg

6.3 成分調整用元素を混入したバイオコークスの開発とその性能評価

天然 Si 成分及び S 分を含有したバイオコークス

銅、Ni 元素等を混入したバイオコークス

7. 市場導入予測

これらの成果を元にした CO₂ 削減効果とその市場導入までのコスト試算を述べる。

7.1 CO₂ 削減効果

鉄鋼分野で石炭コークスは、5,000 万トン/年を消費しており、その 1%を代替できる木質バイオコークスを開発・生産できる技術を開発する。この仮定により、CO₂ 換算で 162 万トン、国内総排出量の 0.12%を木質バイオマス由来の CO₂ に転換できる。

できれば、0.1%→0.5%→1%→5%→10%と技術レベルを上げていくことにより、当初成果の 100 倍の削減量が可能となる。10%代替で二酸化炭素換算で 1,620 万トン、国内総排出量の 12%を削減できるもの推算される。

7.2 CO₂ 削減コスト

CO₂ 削減コストについては、①木質バイオマス収集コスト、②木質バイオコークスの製造コスト、③木質バイオコークスの搬送コストが挙げられる。特に、森林からの木質バイオマスの収集については、各都道府県で最適な場所に、木材市場が設置されており、そこまでの搬送については、問題なく収集される。

①未利用森林資源については、直径 10cm 程度の小径木、さらに樹皮などは林地から取り出しても、市場の要求に合わず処理に困っている段階であり、5,000 円/ton あたりで購入することにより、林業の活性化も図られるものと期待する。軌道に乗るまでは、無償でも譲り受けられることは可能かと考える。

②木質バイオコークスの製造は、低温半炭化前反応技術に支えられており、通常では、600℃以上の熱源が必要であるが、220℃付近の熱源で十分に半炭化できるので、製造コストは非常に抑えられるものと考えている。推算で 15,000～20,000 円/ton。

③木質バイオコークスを高炉所在地まで搬送しなければならない。通常、陸路で 40 円/km・ton、海路で 20 円/km・ton で搬送できるので、大量生産方式が確保されれば、問題なく市場ベースにあてはまる。

以上の仮定をすると、本技術の CO₂ 削減コストは 20,000～30,000 円/トンと推定される。石炭コークスが、現状で 60,000 円/ton なので、十分に市場の期待に応えられる。